

和  
6年

10月

(第81卷・第10冊・第877号)

昭和22年6月26日

第三種郵便物認可

昭和36年9月26日印刷

昭和36年10月1日発行

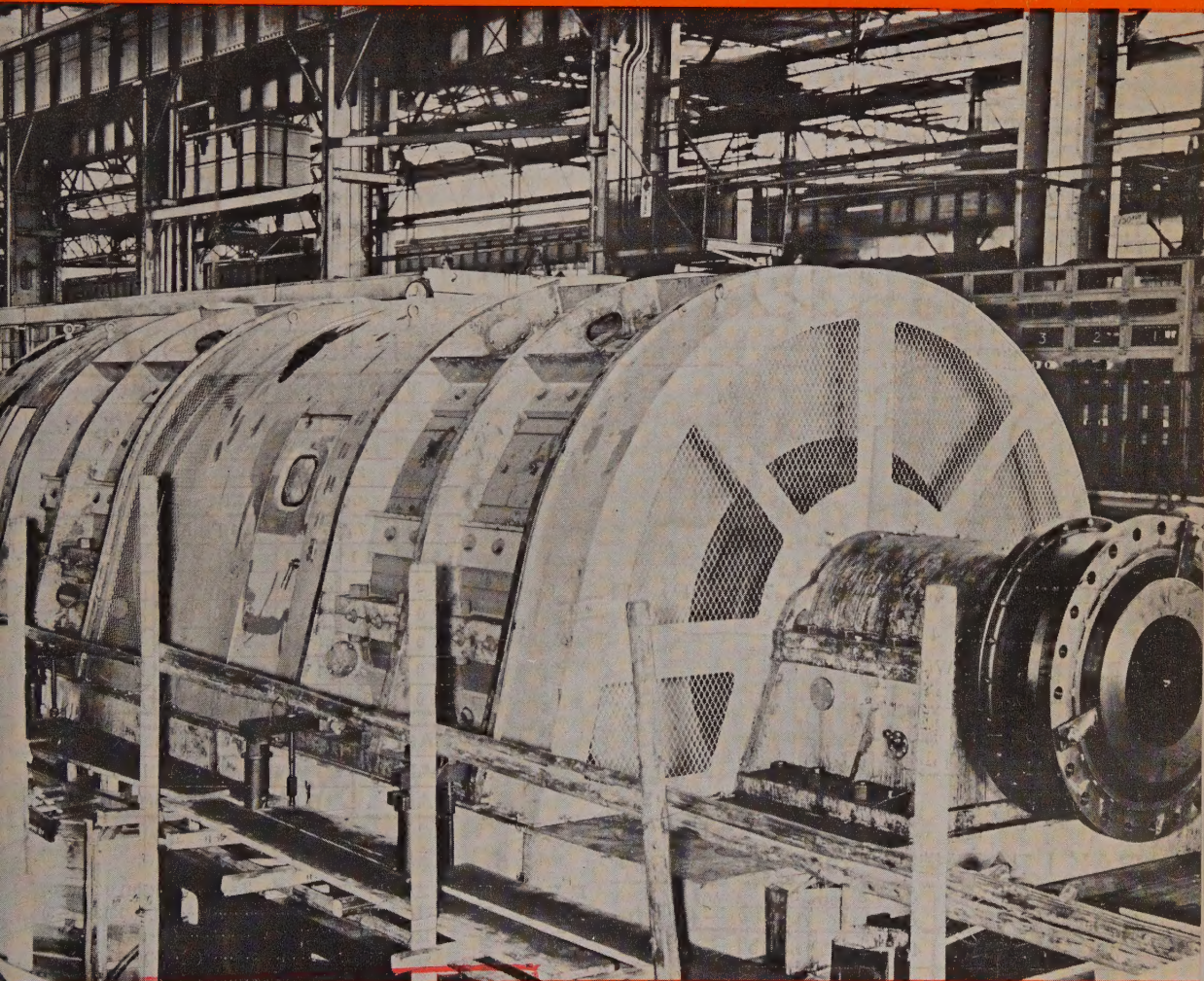
毎月1回

1日発行

# 電 気 学 会 雑 誌

*The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*

*October 1961*



松下通信工業株式会社

計測部才1技術課蔵書

購入 年 月 日

東洋で初めての  
大形型鋼圧延機用電気機器  
(東京芝浦電気株式会社製)

Published monthly by *Denki Gakkai* (The Institute of Electrical Engineers of Japan) Tokyo

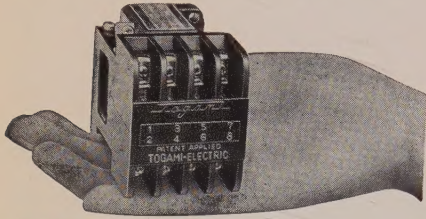




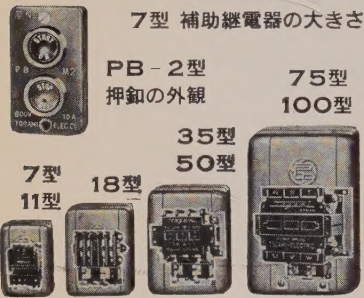
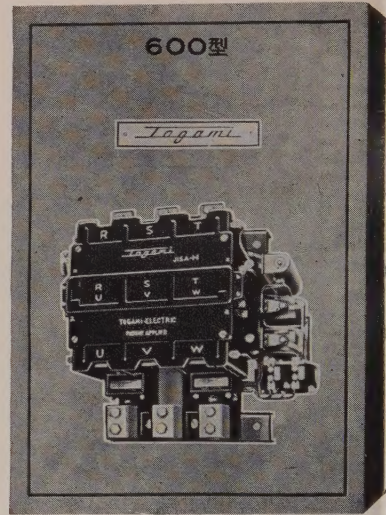
# Tagami

## PAK型 戸上電磁開閉器 シリーズ

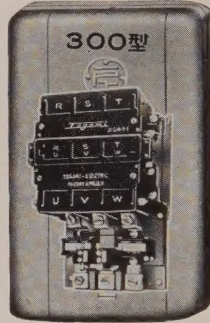
オートメの花形役、補助継電器と共に、モーター用全シリーズ完成。超小型軽量、JIS A-1-1 合格



7型より、600型迄10種類  
全シリーズ完成、超小型7型  
は1.5KW(2馬力)以下のモ  
ーター用として、又小型補助継  
電器として新発足、何れも好  
評噴々!!

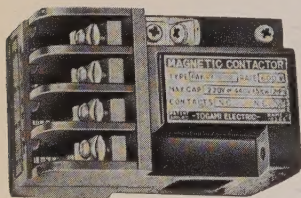


150型

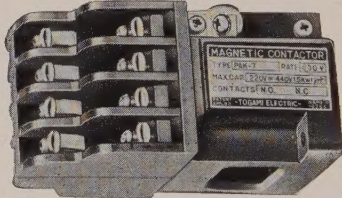


7型 補助継電器 完成、4極型、8極型 生る、超小型

型式別 最大使用KW (HP) 表 (3P)

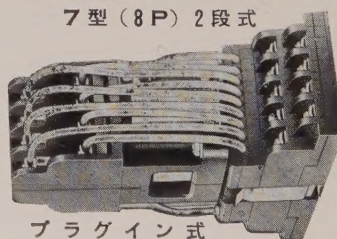


7型補助継電器 (4P)



7型 (8P) 2段式

7型電磁継電器には、4P式と  
8P式とあり、1.5KW(2馬力)  
以下のモートルの安全運転、あ  
らゆる機器のオートメ遠方制御  
等に好評、11型、18型と共に、  
統々御活用下さい。



プラグイン式

(7型8Pの一例)

電 圧	200/220V		400/440V		補助 接 触 子	
	型 式	KW (HP)	KW (HP)	KW (HP)	標 準	最 大
7型	7型	1.5	2	1.5	2	1a
	11 "	2.2	3	2.2	3	2a 2b
	18 "	4.0	5	5.5	7.5	" "
	35 "	7.5	10	11	15	2a 2a 2b
	50 "	11	15	19	25	常備 2a 2b
75型	75 "	19	25	30	40	" "
	100 "	26	35	37	50	" "
150型	150 "	37	50	55	75	" "
	300 "	75	100	110	150	" "
600型	600 "	150	200	220	300	" "

PAK 型	閉鎖型 外函付 電磁 開閉器 (継電器付)
PAK-I	電 磁 開閉器 だけ (外函熱動継電器無)
PAK-II	電 磁 開閉器 熱動電器付 (外函なし)

### PAK I 型 補助継電器 仕様一覧表

型 式	モーター 用 容 量	継電器 用 容 量	極 板	a開路、b開路 接点数 標準 応用の一例	相 当 馬力数
7型	7 A	10 A	4 P	4a 3a 1b 2a 2b	2 HP
" "	" "	" "	8 "	4a 4b 4a 2b 3a 3b	" "
11 "	11 "	15 "	5 "	4a 1d 3a 2b 2a 3b	3 "
18 "	18 "	25 "	5 "	" " " " " "	5 "

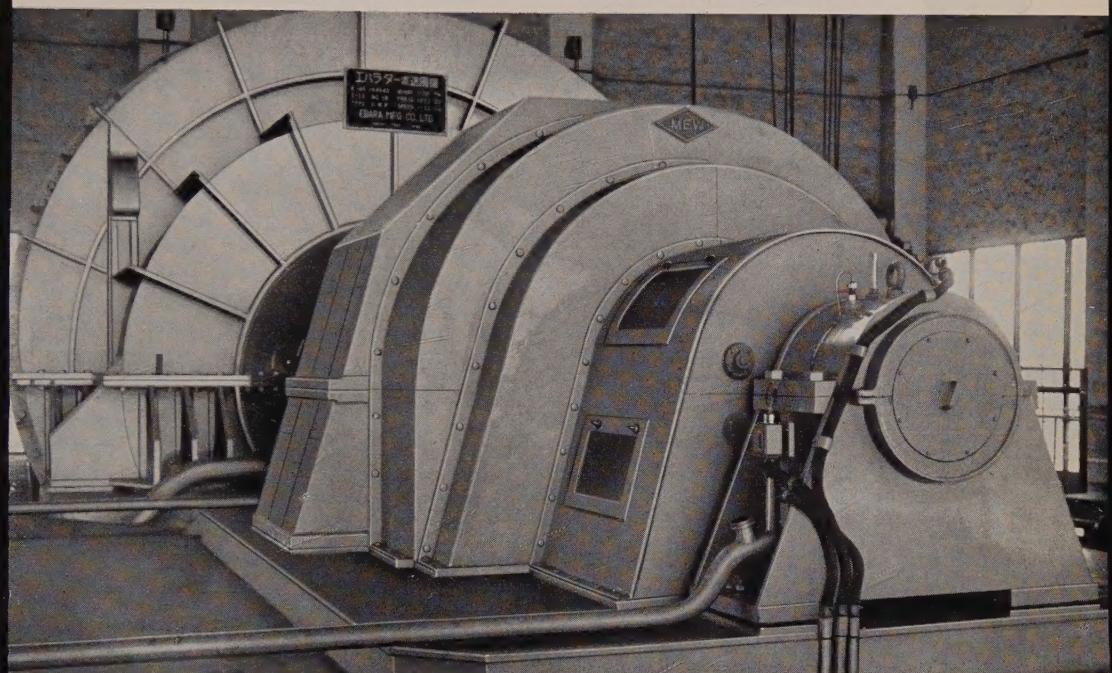
## 戸上電機製作所

本 社 工 場 一 佐賀市大財町385 ..... (電・佐賀(代表)4121)  
名 古 屋 工 場 一 熱田区花表町3ノ18 ..... (電・(88)7408・7487・9420)

東 京 営 業 所 一 港区芝虎ノ門 実業会館ビル ..... (電・(501) 0431 代表)  
大 阪 営 業 所 一 北区芝田町44 芝田ビル ..... (電・(312) 3271~5)  
名 古 屋 営 業 所 一 名古屋駅前 住友銀行ビル ..... (電・(54) 0623・2723)  
福 岡 営 業 所 一 天神町58 天神ビル ..... (電・(74) 0860・0868~9)  
札幌 営 業 所 一 大通西5丁目 大五ビル ..... (電・(2) 3699 (4) 4910)  
仙 台 営 業 所 一 仙台市駅前第一ビル6階 ..... (電・仙台 (5) 0791)  
東 京 戸 上 商 事 一 千代田区神田旭町 大審ビル ..... (電・(251) 5285・7546・9645)  
大 阪 戸 上 商 事 一 北区芝田町44 芝田ビル ..... (電代表 (312) 4951)  
広 島 出 張 所 一 広島市三川町中央通23 ..... (電・(2) 5297)  
静 岡 出 張 所 一 静岡市紺屋町5ノ7 ..... (電・(2) 6982)  
富 山 出 張 所 一 富山市安住町22 ..... (電・富山 (2) 8471)  
宇 部 出 張 所 一 宇部市西区松島町2丁目2ノ5 ..... (電・宇部 (2) 2593)  
本 社 工 場 一 佐賀市大財町385 ..... (電・佐賀(代表)4121)  
名 古 屋 工 場 一 熱田区花表町3ノ18 ..... (電・(88) 7487・9420)



# 高速度大容量排風機用誘導電動機



本機は、鉄鋼設備用の誘導電動機について、各種用途に対して多数の実績を持っている当社が、焼結工場排風機用として完成した 3,800kW 誘導電動機であります。

定格の種類	連 続
出 力 .....	3, 8 0 0 kW
極 数 .....	6 極
同期回転速度 .....	1, 2 0 0 rpm
電 圧 .....	1 1, 0 0 0 V
周 波 数 .....	6 0 c/s
絶縁種別 .....	B 種

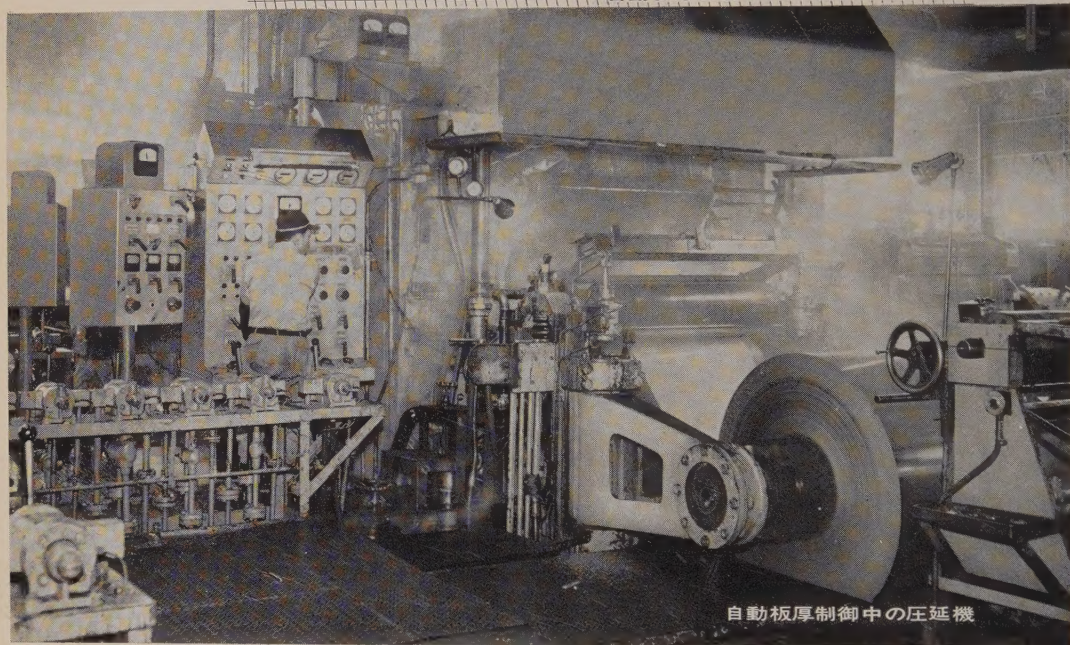
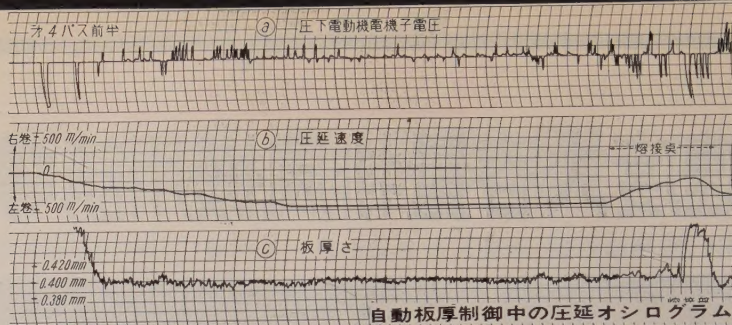
このように高速度大容量機であり、また非常に高電圧を定格としているため、固定子巻線には当社の誇るミュレジンによる完全モールドコイルを採用しております。



株式 明 電 舎  
会社

営業所 東京、大阪、名古屋、福岡、札幌、金沢、仙台、高松、広島、八幡





成品厚みの精度を高度化する  
 <技術の日立>が生んだ冷間圧延機用

# 日立自動厚み制御装置 AGC

製鉄工業のオートメーション化を飛躍させた日立冷間圧延機用自動厚み制御装置は、成品厚みの精度を向上し、品質も均一化します。また、歩留りも向上し、大量生産も可能です。

特長 ● 日立独特の压下制御と張力制御の併用

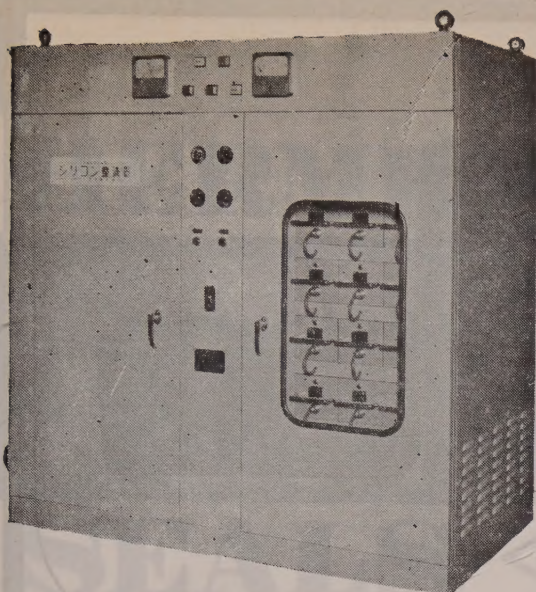
- ロール熱膨脹などの擾乱にも安定した制御
- 厚み計による高精度の制御
- 製鉄所の悪環境にも高い信頼性

納入実績

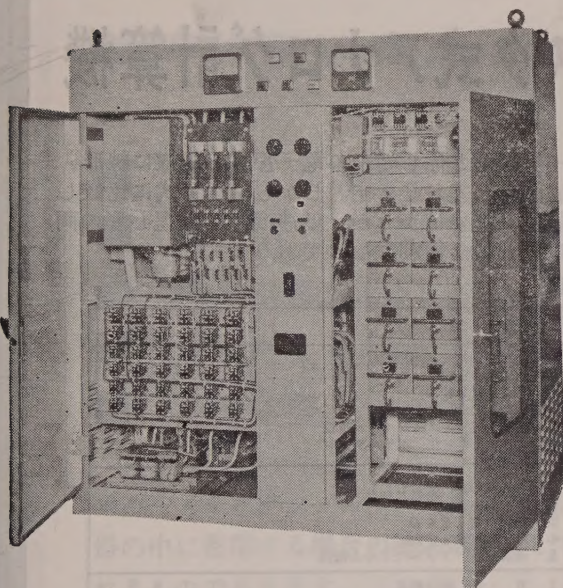
納入先	形式	検出装置	圧延速度 (m/min)
大阪造船 (横浜)	4重可逆 冷間ミル	{フライングマイクロ 圧延圧力計併用	0~305~610
川崎製鉄 (千葉)	同 上	{X線厚み計 圧延圧力計併用	0~300~600
東京重鉛	同 上	同 上	同 上
東京特殊 金 属	同 上	{β線厚み計 ロードセル併用	0~45

日立製作所





シリコン整流器 定格出力12V-3000A 36kW強制空冷



下

## 自動定電流密度制御装置

Chuo

良心的な設計安心して御使用願える!!

# シリコン 整流器

本器では整流体の取替えに便利な如く  
トレイ構造を採用  
電圧および出力側の過電流、短絡等より  
整流体を保護する完全な装置を備えている  
或る一個の整流体保護ヒューズが熔断した場合  
使用電流値を低下させて運転が出来ます  
冷却扇が停止すると交流入力自動遮断する構造  
ヒューズ継電器等の保護装置が動作した場合  
報知表示灯が点灯し警報ブザーが鳴ります

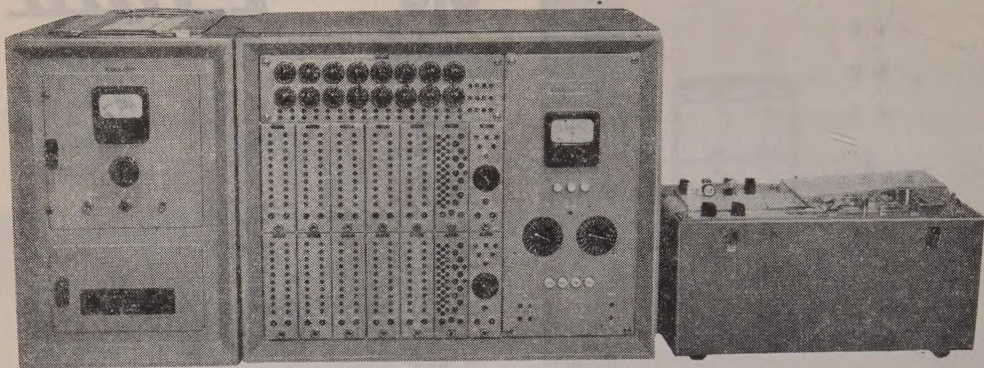
特許ベルトーロ・セレン・シリコン整流器  
配電盤、各種制御盤  
自動制御機器  
全自動・半自動各種鋳金装置

株式 中央製作所  
会社

本社・工場 名古屋市瑞穂区内浜町2の75番地 TEL(81)3166(代表)  
出張所 東京都港区芝浜松町4の2番地 TEL(431)2177・6257

——型録贈呈誌名御記入——





# NEAC -T100

## トランジスタ式アナログ計算機

このトランジスタ式アナログ計算機はNEAC-T100 と称し従来の電子管式と同様に線形、非線形を含む高階の微分方程式を解くに適した構成を有しております。しかも電子管式に比較して著しく小形・軽量になっており、性能上も何等遜色がないばかりか、低速度形と繰返し形の両方を兼用できる特長を有しておりますから、計算には一段と便利になっております。

### ■ 主な特長

1. 低速形と繰返し形が兼用できる
2. 演算要素の組合わせが自由に変形できる
3. 小形・軽量で持ち運びができる
4. 取扱が簡単である
5. 精度が良好である
6. 消費電力が僅少である
7. 価格が低廉である

### ■ 演算要素

ユ ニ ッ ト 名	規 格
1 加 算 積 分 器	1. 入力倍率 10, 5, 1, 1, 1, 1. 2. 最大出力 $\pm 10V$ 3. 最大負荷 $2K\Omega$ 4. 単体精度 $\pm 0.2\%$ 5. 演算抵抗 メタルフィルム抵抗 6. 演算コンデンサ ポリエチレン
2 加 算 係 数 器	1. 入力倍率 10, 5, 1, 1, 1, 1. 2. 最大出力 $\pm 10V$ 3. 最大負荷 $2K\Omega$ 4. 単体精度 $\pm 0.2\%$ 5. 演算抵抗 メタルフィルム抵抗
3 乗 算 器	1. 方 式 時分割式 2. 入 力 X, Y 3. 出 力 $\pm 10V$ , $2K\Omega$ 負荷 4. 乗算係数 $1/10$ 5. 精度(静特性) 約 0.5%
4 折線近似関数発生器	1. 折 線 数 10本 2. 最大出力 $\pm 10V$ , 3. 最大負荷, $2K\Omega$
5 係数ポテンショメータ	16個 $10K\Omega$ , 10回転, 0.2%
6 制 御 回 路	1式 CHECK, RESET, COMPUT, HOLDの各命令レコーダの起動・停止, 低速, 繰返しの切換
7 指 示 器	1式 各要素の出力監視
8 記 録 器	1式 2ch ペン書, トランジスタ式増幅器使用
9 電 源 装 置	1式 入 力 AC 85~110 V, 48~62 c/s 出 力 高安定化直流電源
10 添 付 器	1式

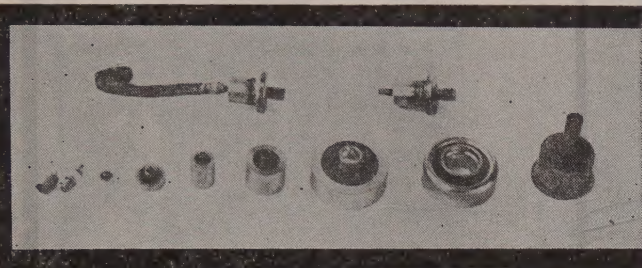


東京都高輪局区内 (451) - 1171

カタログ御入用の方は電子機器事業部営業部へ



# HERMETIC



# SEALS



# NEC ハーメチック シール

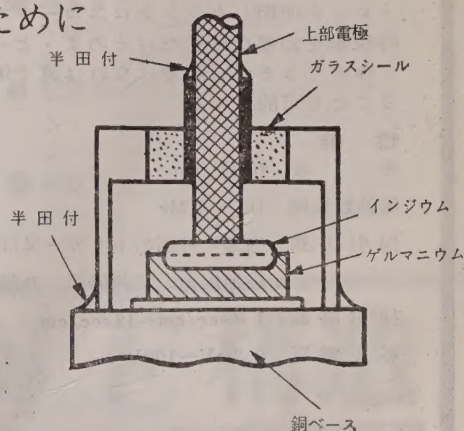
## 半導体整流器用 気密硝子端子

- 低圧より高圧まで
- 検波用より大電力用まで
- 許容温度範囲の拡張に
- 漏洩による機能劣化防止に
- 半導体整流体の特性を生かすために

●ハーメチックシールは、電気機器部品等を容器の中に密閉する場合の導入端子として用いられるものであります。

●ハーメチックシールは外周が金属でできていて半田付等の方法で容易に容器に接続することができるようになっており、中央のリードとの間は特殊ガラスで完全に絶縁されております。

### 使用例

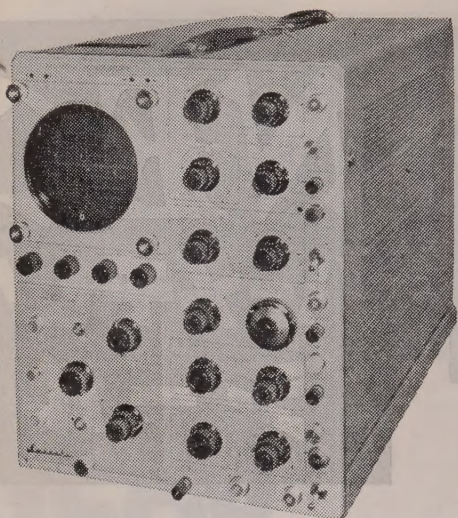
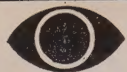


## 新日本電気株式会社

本社 大阪市北区梅田2番地(第一生命ビル)  
支社 東京都港区芝西応寺町55番地  
大津工場 大津市粟津晴嵐町25番地

電話 (36) 3271 (代表)  
電話 (451) 9671 (代表)  
電話 大津 4681~6





瞬時現象！ 連続現象！

# 岩崎の

## メモリスコープ

### MS-5012

メモリスコープは、直接表示蓄積管のメモトロンを使用したシンクロスコープで、瞬時現象を必要な時間だけそのまゝとっておく事ができます。不要になれば直ぐ消去することも可能です。

#### 性能

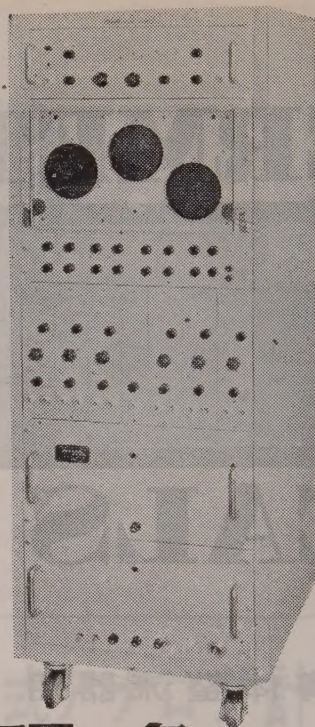
感 度 10mV/cm

周波数帯域 DC～1 Mc

掃引方式 内部・外部のトリガー又は自励  
遅延掃引、電源掃引、外部掃引

掃引時間 1  $\mu$ sec/cm～12sec/cm

校正電圧 0.2mV～100V



# 6現象

## シンクロスコープ

2要素ブラウン管を3組使用した、多現象用のシンクロスコープです。現象を記録するためには、このまま、接写装置で写真をとると、オシログラフの上に6現象を光学的に集めて連続記録するのと、2つの方法があります。後の方法の場合にはセットのパネル面に装置を取付けます。

#### 性能

ブラウン管 5 SP11A 3本

感 度 0.05 V/cm

入力インピーダンス 1 M $\Omega$

周波数帯域 DC～500kc

掃引方式 トリガー掃引、単掃引及び自励  
内部・外部・電源の正及び負

掃引時間 4  $\mu$ sec/cm～15msec/cm

校正電圧 0.05 V～100V

電 源 100V 50～60%



## 岩崎通信機株式会社

(お問合せは営業所又は出張所へお願いします)

東京営業所 東京都中央区日本橋通り1の6 浅野ビル  
電話 (271) 0461～8・0471～7

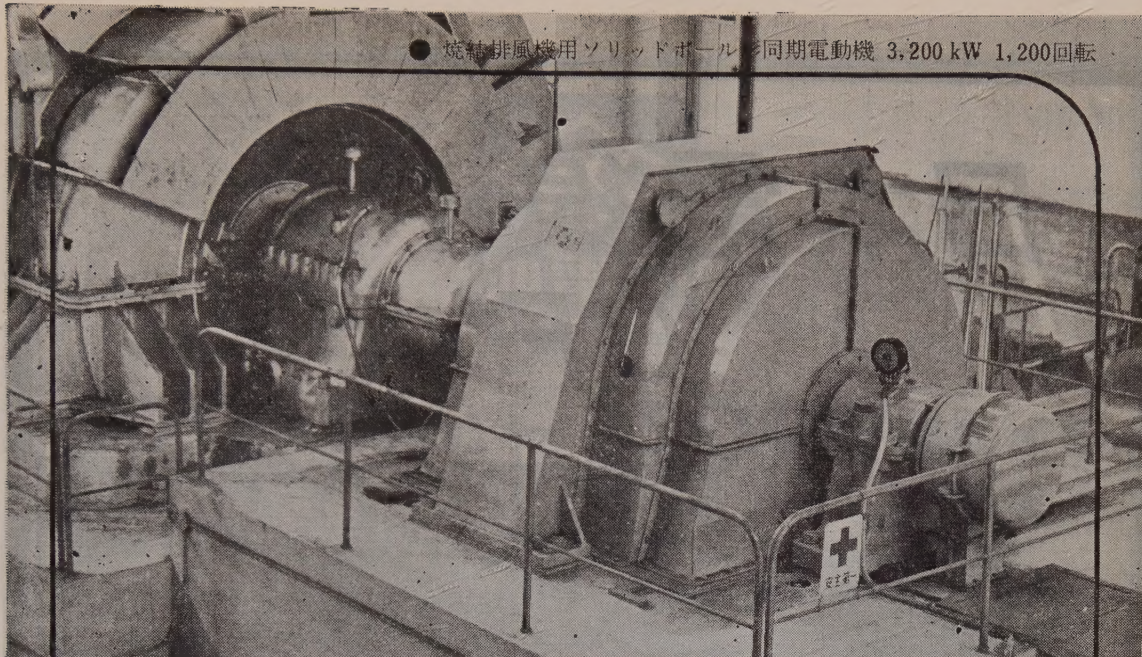
大阪営業所 大阪市東区淡路町5の2 長谷川ビル  
電話 (23) 1616 (代表)

本社及工場 東京都杉並区久我山2丁目710番地  
電話 代表(391)2231・(398)2231

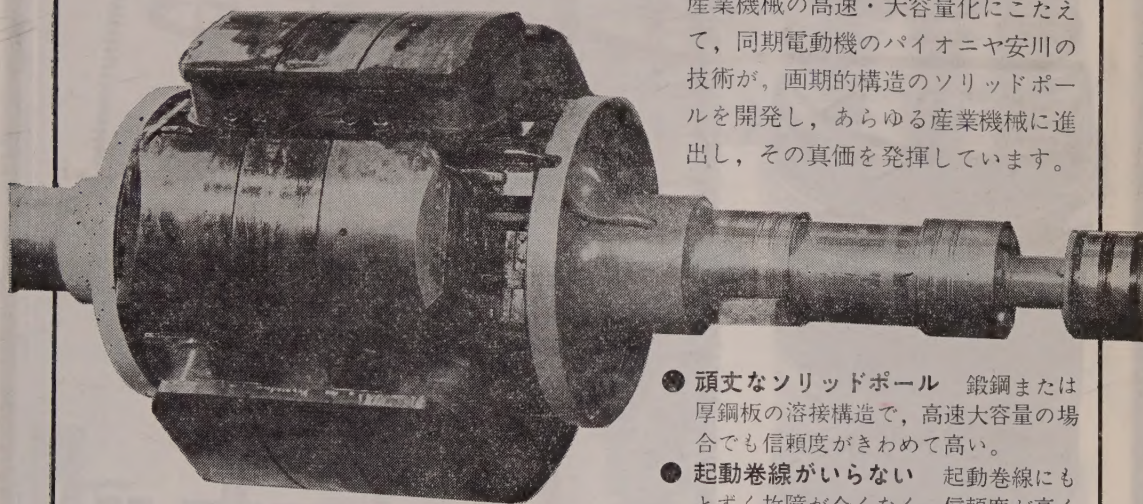
出張所 札幌・仙台・金沢・名古屋・広島・福岡・熊本



● 焼結排風機用ソリッドポール同期電動機 3,200 kW 1,200回転



産業機械の高速・大容量化にこたえて、同期電動機のパイオニア安川の技術が、画期的構造のソリッドポールを開発し、あらゆる産業機械に進出し、その真価を発揮しています。



● 3,200 kW 1,200回転同期電動機  
ソリッドポール形構造 回転子

- 頑丈なソリッドポール 鍛鋼または厚銅板の溶接構造で、高速大容量の場合でも信頼度がきわめて高い。
- 起動巻線がいらない 起動巻線にもとずく故障が全くなく、信頼度が高く保守容易。
- 起動特性が優れている うず電流の利用によって2重コ形特性が得られしかも磁極頭部の温度上昇が低い。

# SOLID POLE 構造



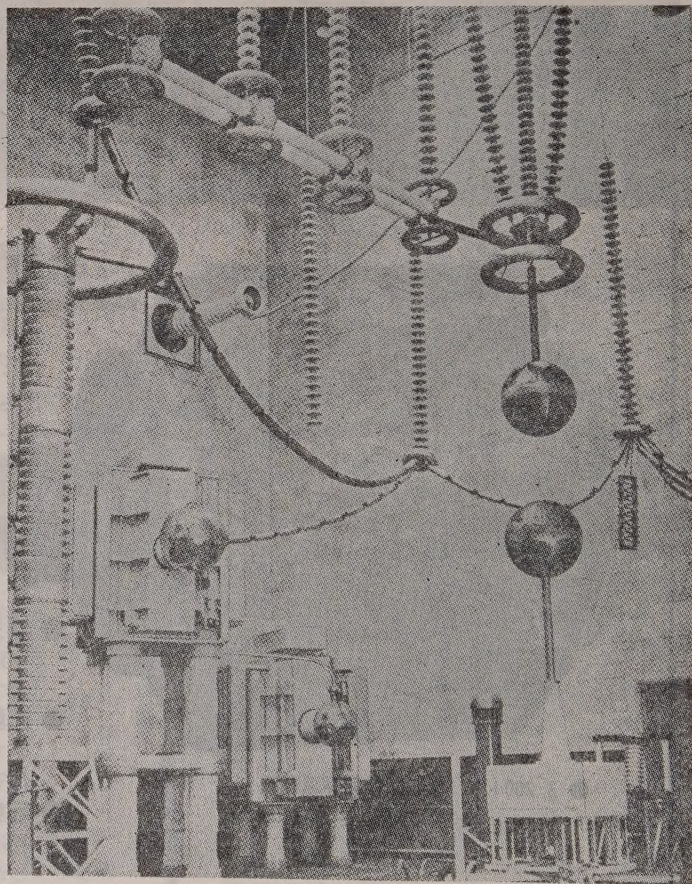
## 安川同期電動機

株式会社 安川電機製作所 重電機営業部 東京都千代田区一 大手町ビル

営業所 東京・大阪・名古屋・札幌・福岡  
高松・富山・新潟・広島・仙台



# 日本電線の OFケーブル



川崎工場 超高压試験場の一部



## 日本電線株式会社

本社事務所 東京都中央区西八丁堀2-1-1 長岡ビル内  
電話 (551) 6471 (10)

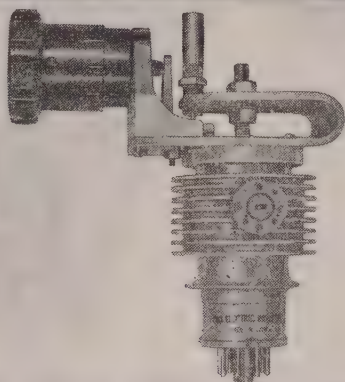
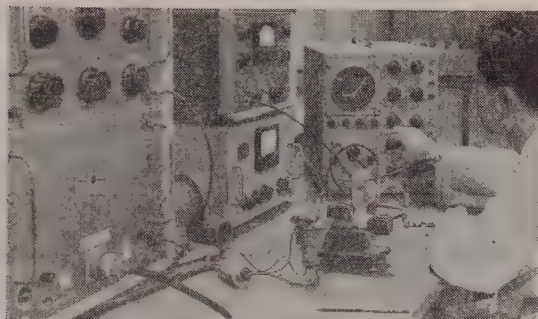
営業所 大阪・福岡・仙台・名古屋・札幌  
工場 東京・川崎・熊谷



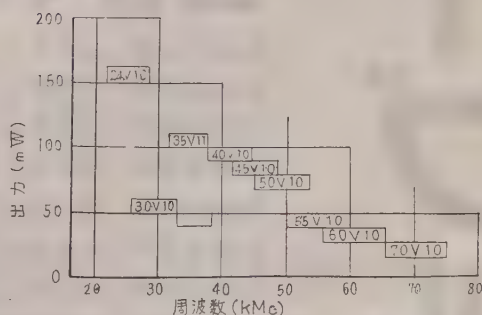


創業80周年

# 20,000Mc → 75,000Mc まで 耗波管シリーズ完成!!



テレコミュニケーションとエレクトロニクス  
のトップメーカー沖電気では 耗波  
管シリーズの完成を急いでいましたが  
右の図表に示すように 10種のクライス  
トロンにより 20,000 Mc ~ 75,000 Mc ま  
で切れ目なく発振することに成功しまし  
た。

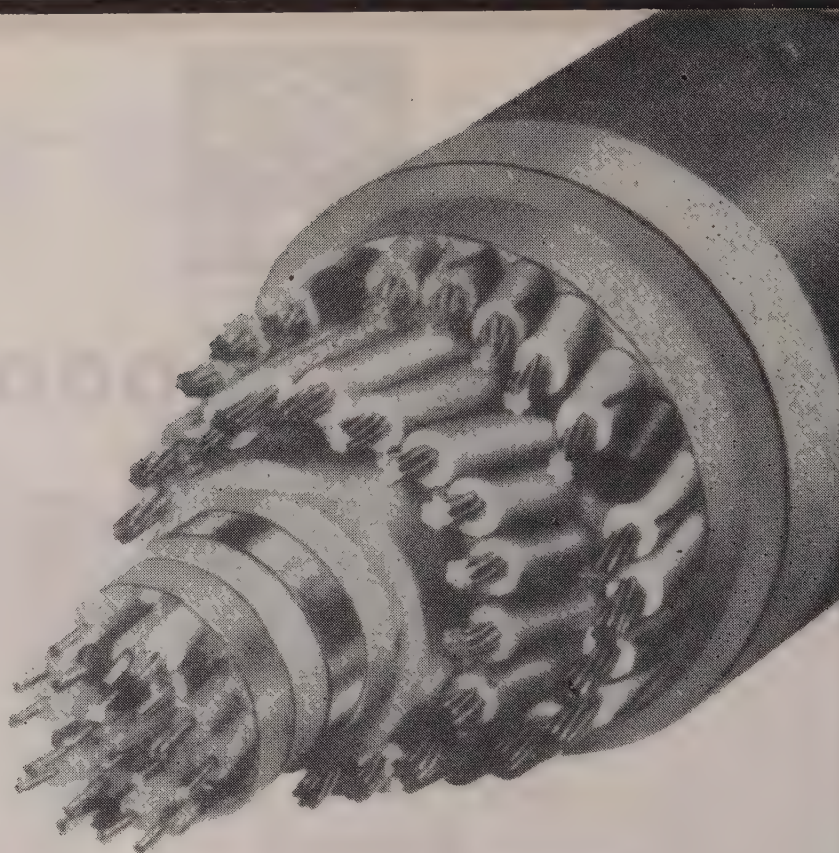


## 沖電気工業株式会社

東京都港区芝高浜町10 TEL東京(451)2191.9271



# 三井の電線・ケーブル



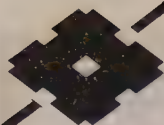
プラスチック制御通信複合ケーブル



## 西日本電線株式會社

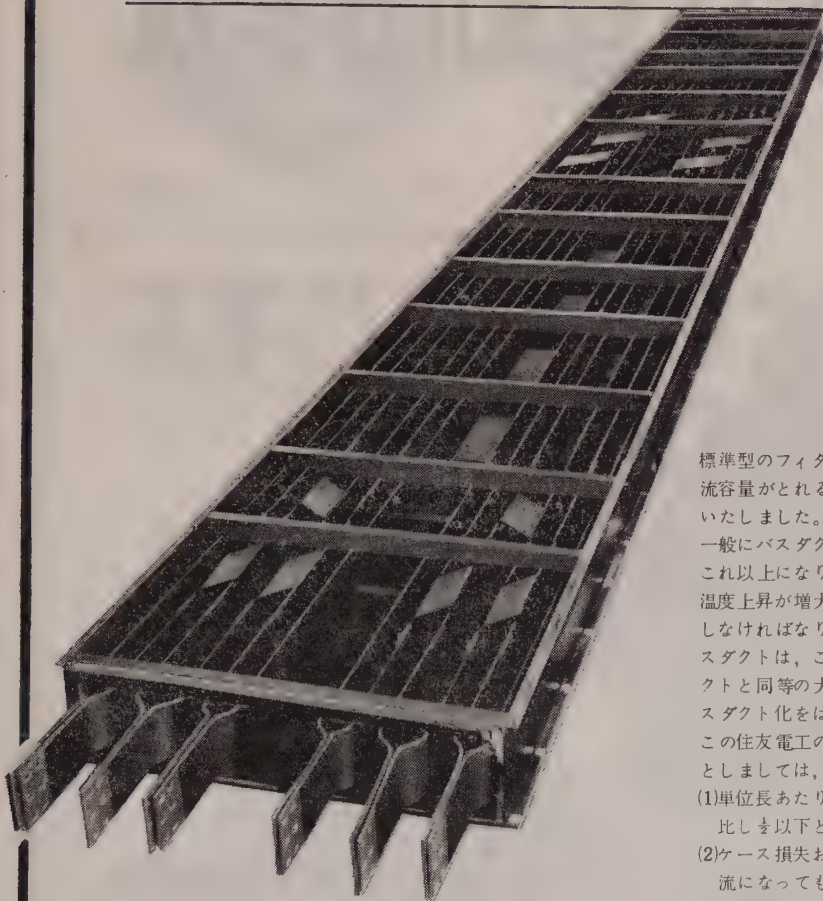
本社・工場	大分市大字駄原2899番地	電話大分(2)6141(代表)
東京営業所	東京都日本橋室町三井ビル内	電話東京(241)5084
大阪営業所	大阪市北区中之島三井ビル内	電話大阪(44)3731
福岡営業所	福岡市天神町39三井銀行ビル内	電話福岡(76)4731
名古屋出張所	名古屋市広小路西通三井物産ビル内	電話名古屋(54)3171
小倉出張所	小倉市京町10-281五十鈴ビル内	電話小倉(5)2810
札幌出張所	札幌市北二条西3丁目越山ビル内	電話札幌(2)2056
熊本駐在所	熊本市大江町九品寺294の1	電話熊本(4)3343





住友電工の

# 低インピーダンス バスタクト



標準型のフィゲバスダクトと同等の大きさで大電流容量がとれる低インピーダンスバスダクトを完成いたしました。

一般にバスダクトの電流容量は 2,000 A が限度で、これ以上になりますと、在来の構造では電力損失、温度上昇が増大するため、自然バスダクトを大型化しなければなりません、当社の低インピーダンスバスダクトは、これらの問題を解消し、従来のバスダクトと同等の大きさで 5,000 A 近くまで、有利にバスダクト化をはかることが可能であります。

この住友電工の低インピーダンスバスダクトの特長としましては、次のものがあげられます。

- (1) 単位長あたりの電圧降下が同容量のバスダクトに比しき以下となります。
- (2) ケース損失およびインピーダンスの増加は、大電流になってもほとんど変わりません。
- (3) バランシング撚架ユニット等を理想的に配置したユニット方式としていますので、組み立て施工が簡単であります。
- (4) 合理的な導体配置(特許出願中)を施していますので、コンパクトなものとなります。
- (5) 価格が低廉となります。

## 住友電気工業株式会社

本 社 大阪市此花区恩貴島南之町60 東京支社・東京都港区芝罘平町1

支 店 名古屋・福岡 製作所 大阪・伊丹・名古屋・横浜



昭和の

# 500kV超高压OFケーブル



当社では、すでに400kV級OFケーブル並びにエレファントブッシングの製作を完成し、電力輸送の超高压化に対する万全の態勢を確立しておりましたが、今般さらに500kV超高压OFケーブルの製作に成功し、各種試験の結果、きわめて良好な成績をおさめております。

## 構造ならびに試験成績

構造	油通路	14mm硬銅スパイラル		
	導体遮蔽	片面半導体紙		
造	絶縁層	30mm25, 40, 70, 125 $\mu$		
	補強層	紙テープの組合せ 約4.0mmショウブレン		
試験成績	概算外径	125mm	概算重量	42.200kg/km
	交流長時間 衝撃電圧 誘電正接	900kV 良 油圧15kg/cm <sup>2</sup> 2.100kV 良 油圧15kg/cm <sup>2</sup> 0.267% 80°C 500kV		

# 昭和電線電纜株式会社

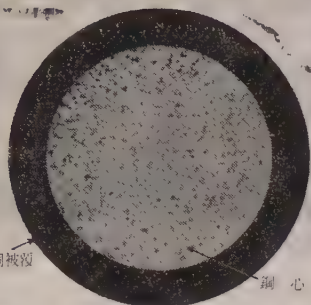
本社及工場  
東京販売店  
販売店  
相模原工場

川崎市東渡田3-1-1 電(3)2541(大代)  
東京都千代田区丸ノ内1-6-1(東京海上ビル新館内) 電(281)6451(代)  
大阪・名古屋・仙台・福岡・札幌・広島  
相模原市清兵衛新田28 電(7)3151-2



# 銅パイプ線

— C.P. 線 —



## 特長

電気メッキによる銅被覆でありますから

- 1 銅心と銅被覆は同心円であります
- 2 品質が軸方向及び直径方向について均一であります
- 3 永久に銅被覆は剥離しません
- 4 長尺物の製造が可能であります

# スチロフレックス 同軸ケーブル

## 特長

- 1 長尺のケーブルが得られます
- 2 可撓性に富んでおります
- 3 軽量且つ強靱で取扱が簡単であります
- 4 長さ方向に品質が均一であります
- 5 低損失であります
- 6 特性の経年変化がありません
- 7 輻射がありません



※

Styroflex は Norddeutsche  
Seekabelwerk A.G. の登録商標である。



# 大日本電線株式会社

尼崎市東向島西之町 8

本店  
大阪支店  
東京支店  
名古屋支店  
本大東九名工

尼崎市東向島西之町 2  
大阪府北区梅田町 7 番地の 3 梅田ビル  
東京都千代田区丸の内 1-6 (海上ビル新館)  
福岡市天神町 20 福岡同和ビル  
名古屋市中村区堀内町 4 の 1 毎日名古屋会館  
尼崎市・箕島

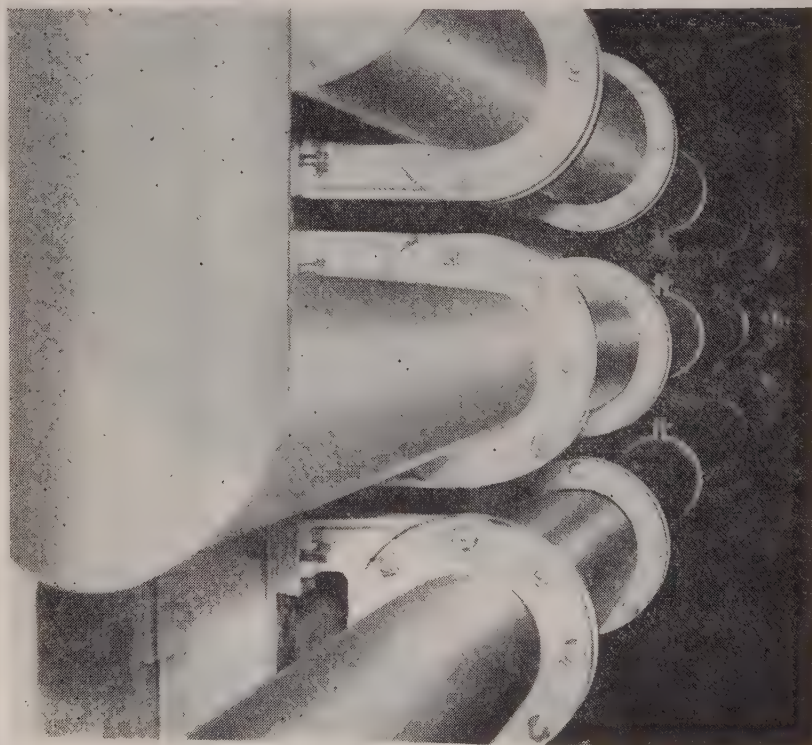




# 古河 全アルミ圧力型 相分離母線

当社はこの度本邦最初の全アルミ圧力型相分離母線を電源開発株式会社殿尾鷲第2発電所へ納入しました。

本機は導体に外径60mmの純アルミ管、遮蔽管に外径190mmの継目無耐食アルミ管（古河アルミニウム工業株式会社製）を使用し、遮蔽管内に $2.2\text{kg}/\text{cm}^2$ （G. P.  $20^\circ\text{C}$  換算）の乾燥窒素ガスを加圧封入し、小型化に成功しました。なお導体はすべて現地においてアルゴンガスアーク溶接により接続しました。



定 格  
絶縁階級 10号  
  
定格電流 1,500 A  
  
全 長 約 110 m  
(単相換算)

写真は発電所トンネル内に敷設された全アルミ圧力型相分離母線

## 古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2の14



# 藤倉型 温床用

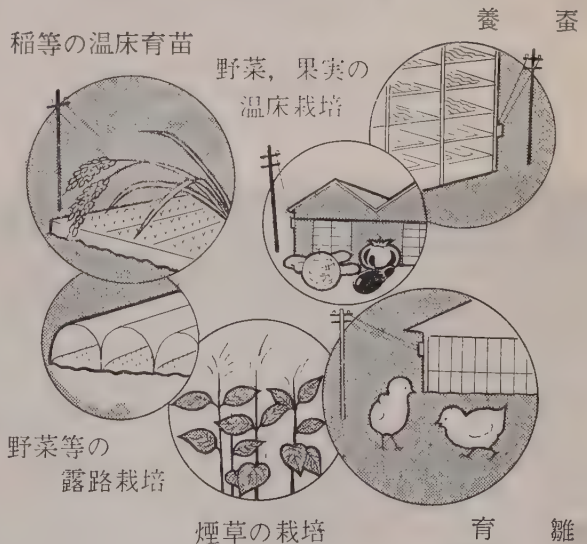
# 耐熱ビニル電熱線

温床用耐熱ビニル電熱線は、耐熱性が一般用ビニルより格段に優れた「耐熱ビニル」を特殊合金線の上に被覆したもので、温床ケーブルとして最適のものであります。

## 主なる用途

### 特 長

- (1) 耐熱ビニルを使用していますので熱的に短時間で傷むことがありません。
- (2) 機械的に強く、耐久性があります。
- (3) 日光に対して強い。
- (4) 電氣的に完全に絶縁されていますから感電、漏電のおそれはありません。
- (5) 土中または水中で使用しても絶縁は低下しません。
- (6) 定格電圧により鮮明に色別していますので取扱いが便利です。



## 藤倉電線株式會社

本 社 東京都江東区深川平久町1の4 電話東京 (644) 大代表 1111  
 工 場 東 京 ・ 沼 津  
 販 売 店 大阪・福岡 出張所 名古屋・仙台・札幌



**YEW**

日本産業と科学振興を支える

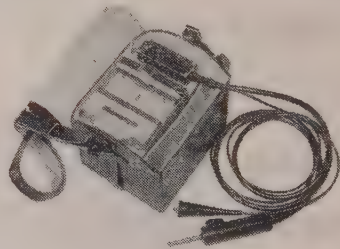
## 電気計測器

### オートメーション装置

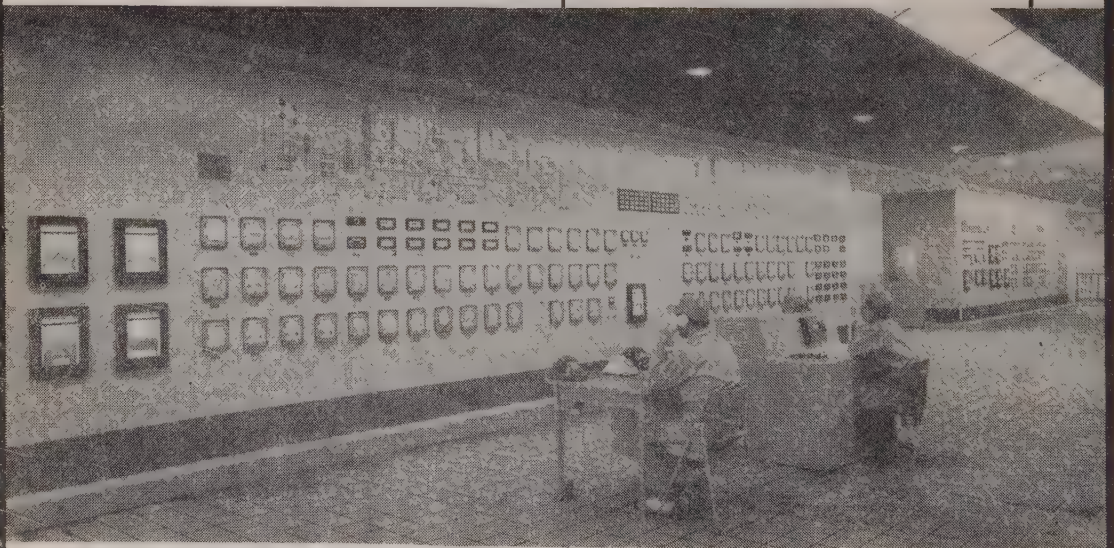
標準用・携帯用・配電盤用・パネル用計器から、電力用、通信用各種測定器、各種アナログ計算機、オートメーション用工業計器まで



携帯用計器



自動式絶縁抵抗計



ECS（全電子式制御装置）により計装した中央管理室

# 横河電機

本社・工場 東京都武蔵野市吉祥寺3000 電話 東京391代表1901、武蔵野局(022-2)3701 支店・名古屋・大阪・小倉 出張所・新潟・広島





*Takao*

高 岳

変電用機器

発電所と工場・家庭を結ぶ

関西電力(株)殿中野変電所納  
遠方監視制御装置(子変電所)

タカオカ

■ 営 業 品 目 ■

変 圧 器・断 路 器

し ゃ 断 器・配 電 盤

変 成 器・そ の 他



株式会社  
高岳製作所

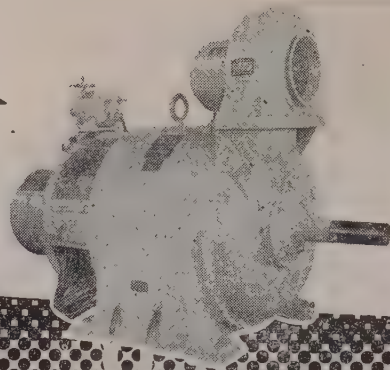
東京都千代田区大手町2ノ4(新大手町ビル)

電話 東京(211)代表1671



# 生産の合理化に!!

オートメーションに  
活躍する!!



最も能率的な  
無段変速電動機

特 長

- ① 極めて簡単な速度調整
- ② 高い効率と優れた力率
- ③ 大きいトルクで少い電流
- ④ 取扱が簡単で維持費低廉

## 東洋の ASE-A- 三相整流子電動機



ビニール押出機に使用の 5.5 kW ASE-3-4

標準形ASモーターの出力と速度調整範囲

出力kW(HP) (最高速度 における)	毎 分 回 転 数 (全負荷トルクにおける)			
	分 巻 型		超 分 巻 型	
	50 [%]	60 [%]	50 [%]	60 [%]
0.4 (1/2)	2,000~650	2,400~800	*2,500~125	*3,000~150
0.75 (1)	"	"	"	"
1.5 (2)	"	"	"	"
2.2 (3)	"	"	"	"
3.7 (5)	"	"	"	"
5.5 (7 1/2)	"	"	"	"
7.5 (10)	1,350~450	1,650~550	1,650~80	2,000~100
11 (15)	"	"	1,650~165	2,000~200
15 (20)	"	"	"	"
19 (25)	"	"	"	"
22 (30)	"	"	1,250~125	1,500~150
30 (40)	1,000~340	1,200~400	"	"
37 (50)	"	"	"	"
55 (75)	800~270	970~339	950~160	800~130
75 (100)	"	"	"	"
90 (120)	"	"	"	"
110 (150)	680~230	800~270	"	"
150 (200)	580~220	700~260	"	"
190 (250)	460~153	550~183	"	"
300 (400)	350~117	420~140	"	"

\*印の定格時間は最高速度の1/3までは連続、それ以下は1時間定格であります。



## 東洋電機製造株式会社

本 社 東京都中央区京橋3~4 電話 (281) 3331 (代)  
 営業所 大 阪・名 古 屋・小 倉・札幌  
 工場 横 浜・戸 塚・京 都



# Accuracy 0.2dB

高精度・広帯域の直示式レベルメータ

## PM-15型 高感度交流真空管電圧計

本器は交流専用の高感度、広帯域、広範囲、高入力抵抗の真空管電圧計で微小電圧の測定に最適のものであります。また高精度・広帯域の直示式レベル測定器として使用できますので、TV、音響機器、搬送機器などに広い応用範囲があります。

### 測定範囲

1mV~300V, -58dB~+52dB, 12レンジ

### 精度

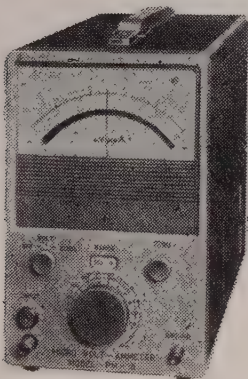
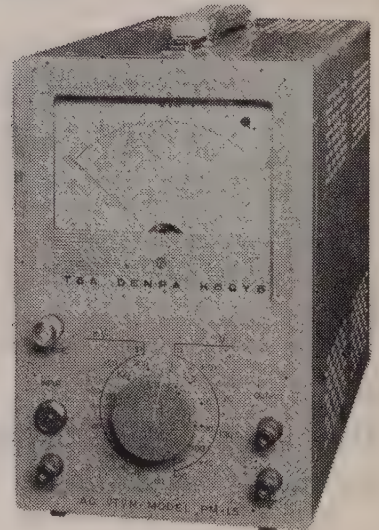
フルスケールの±2% (20c/s~1Mc)  
±5% (10c/s~4Mc)

### 入力インピーダンス

約10MΩ 30pF, 付属プローブで並列容量15pF

### 寸法・重量

150(幅)×230(高)×285(奥)mm・約7kg



## PM-18型 高感度直流電圧電流計

直流専用の高感度・広範囲の微小電圧電流計であって、従来測定困難な微小電圧電流を安定正確に測定できます。半導体、放射線その他の関係に広い応用範囲があります。

**測定範囲** 電圧 0~±30μV~100V 14レンジ  
電流 0~±3μA~100μA 16レンジ

**入力抵抗** すべてのレンジで10MΩ

**電圧降下**

100μA以上で	1mV
30μAで	300μV
10μAで	100μV
3μAで	30μV

# 東亜電波工業株式会社

本社 東京都新宿区原町235-4・(369) 0101 (代)  
出張所 大阪市東区淡路町3の6 船場ビル・(23)6547  
小倉市大門町82・(5)5455  
サービス 福岡市東港町88-2 日興電気商会内・(4)4910  
ステーション 名古屋市中区朝日町2の5 朝日エレクトロン内・(97)5232

■前回掲載のCR-007型低周波発振器とD-20C型ひずみ率計の説明文・仕様が入れ違っておりまして。訂正少々御詫びいたします。扱店



■デジタルカウンタ ■信号発生器 ■広帯域分布増巾器 ■直流増巾器 ■真空管電圧計 ■波形測定器 ■インピーダンス測定器 ■デジタルプリンタ装置 ■電子応用計測器一般

nippa

計測器のしにせ

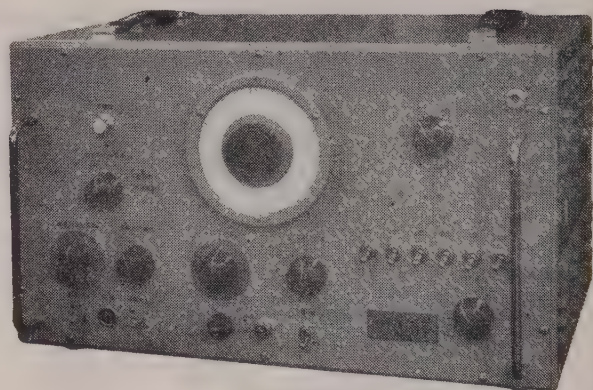
nippa のマークが保証する

性能と品質

## 発振器

### パルス発生器 N-221

高出力で  
波形が良好  
パルス巾範囲が広い  
繰返し周波数範囲が広い



#### 規格

繰返し周波数	1 / ~100kc	パルス出力	35V 以上 (50Ω 負荷)
パルス巾	0.1μs ~ 100μs	出力インピーダンス	50Ω (正負共)
上昇, 下降時間	約 0.02μs	同期入力	最小 5Vp-p 正負とも

#### N-220

##### パルス発生器

繰返し周波数  
50% ~ 5000%

パルス幅  
0.1μs ~ 10μs 連続可変

パルス幅目盛精度  
± (10% + 0.1μs)

上昇・下降時間  
約 0.02μs

パルス出力  
40V 以上 (50Ω 負荷)

出力インピーダンス  
50Ω (正負出力)

同期入力  
最小 5Vp-p

同期出力  
正 40V 負 25V

#### N-222

##### ダブルパルス発生器

繰返し周波数  
0.1% ~ 10KC

パルス巾  
1μs ~ 100μs

パルス出力  
単一又は二重パルス  
600Ω 負荷 正 45V, 負 150V

パルス間隔  
0 より周期の 50% まで

#### N-214

##### 矩形波発生器

周波数範囲  
1% ~ 1Mc

周波数目盛精度  
± (10% + 1%)

出力  
600Ω 0 ~ 55Vp-p  
75Ω 0 ~ 7Vp-p

出力波形  
立上り, 立下り  
75Ω 0.02μs  
600Ω 0.1μs

同期入力  
5Vp-p 以上  
サグ・オーバーシュート  
5% 以内

#### N-211

##### 超低周波発振器

周波数範囲  
0.008% ~ 1200%

5 レンジ

目盛誤差  
± 3% 以内

周波数特性  
0.5db

出力波形  
正弦波 矩形波 三角波

出力電圧  
30Vp-p 以上  
4000Ω 負荷

#### N-210A

##### 低周波デケード発振器

周波数範囲  
1% ~ 111,110%  
0.1% 1% ステップ

周波数精度  
× 1 レンジ  
50% 以下 ± (1% + 0.5%)  
50% ~ 100%  
± (1% + 1%) 以下  
100% 以上 ± 1% 以下  
× 10 レンジ  
500 以下 ± (1% + 5%)  
500 ~ 1000%  
± (1% + 10%) 以下  
1000% 以上 ± 1% 以下

負荷抵抗  
600Ω (内部インピーダンス 約 100Ω)

出力レベル  
20dbm



日本電波株式会社

カタログ呈上

東京都品川区東中延 4-1-402 TEL 782 10 3 0055 0050 3742



# ANDO

# 測定器



## 最高の技術で絶縁性能の測定

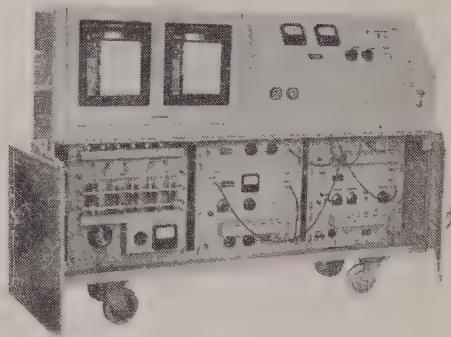
## 新方式による絶縁物ボイドの検出器

### コロナ雑音測定装置 CNT-1 型

絶縁物ボイドより発生するコロナ放電パルスの検出  
およびその性質を分析する総合試験装置です。

主な測定項目

- 1) 発生コロナの数をメーターおよび記録計で計数
- 2) コロナ放電々荷量をメーターおよび記録計で測定
- 3) 商用周波数の任意位相のゲートが行える
- 4) 商用周波数の任意周期をゲート出来る
- 5) 発生パルスの大きさについて選択出来る



コロナ雑音測定器

## 電気機器の絶縁保守に

### 高圧用損失角測定器 TR-8 型



高圧用損失角測定器

片側アースの状態でも測定が出来ますから、既設機器の絶縁性能測定に最適です。

性能

測定周波数 商用周波数

測定電圧 2,000 V～25,000 V

測定範囲 静電容量 1,000 pF～0.01  $\mu$ F

損失角 0.02 %～50 %

#### 広告目次

4月号 直流重畳インダクタンス・ブリッジ  
5月号 半導体測定器  
6月号 パルスコープ、パルス発生器

7月号 絶縁物測定器一式  
8月号 位相計  
9月号 トランジスタ静特性直視装置及び  
トランジスタチェッカー

## 安藤電気株式会社

東京都大田区仲蒲田3-4  
TEL (731) 1 1 6 1 (代)

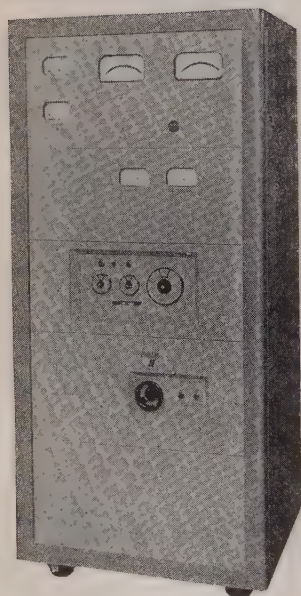


世界のトップレベルを行く

全Tr化

# 高安定直流電源装置

本邦で完成!



最大200V 30KWまで

定格出力の0~100% 連続可変

出力電流安定度  $5 \times 10^{-6}/H$

リップル  $1 \times 10^{-6}$  以下

装置の標準定格

入力交流電圧 200 V

入力交流電圧変動許容範囲  $\pm 15\%$

入力周波数 50または60Hz

最大出力直流電圧 200 V

出力電流可変範囲 0 から 100%迄連続可変

出力電流変動率 出力電流10%から100%迄の範囲で  
 $5 \times 10^{-6}$  /時間以下

出力電流リップル含有率 $10^{-6}$

スイープ巾 100, 10, 1, 0.1%切替

スイープ時間 15分

I Double yoke type—NMR用・ESR用および

Broad line type NMRとESR共用

a) 本体 磁極直径 300, 210, 150, 100mm 各種

磁極間隙 70~20 mm ポールピース又はスパーサー交換。

磁場強度 gap 60 mm で 5500~20000 Gauss 各種。

磁場均一度 最高  $10^{-8}$  まで

b) 付属機構 Yoke 直立型, 45°傾斜型, 可動傾斜型(0~90°)回転台 $\pm 200^\circ$

移動台車

II Bitter type—Hall 係数または ESR 用

磁極直径 60, 80, 100, 120 mm $\phi$  各種

磁極間隙 0~60 mm 可変

磁場強度 磁極間隙 40 mm で 30,000 Gauss まで

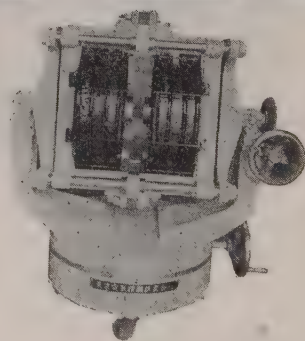
III Weiß type—教育用簡易マグネット

IV Helmholtz type—Plasma—サイクロトロン共鳴など

V パルス磁場として50,000 Gauss以上発生させる空芯マグネット。

およびパルサーもあります。

## 石磁電



御引合は第二事業部営業課へ

## 東京電気精機株式会社

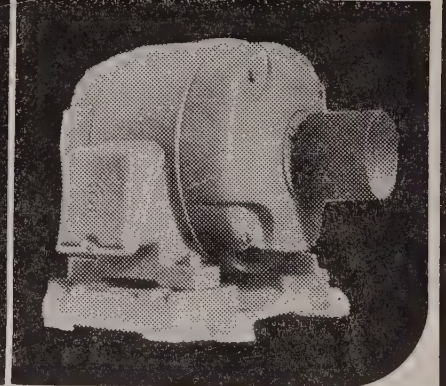
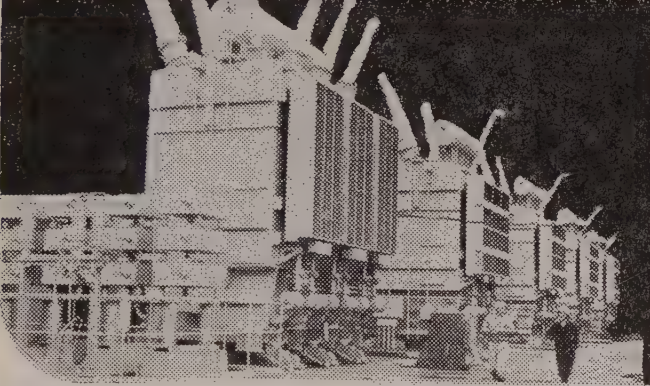
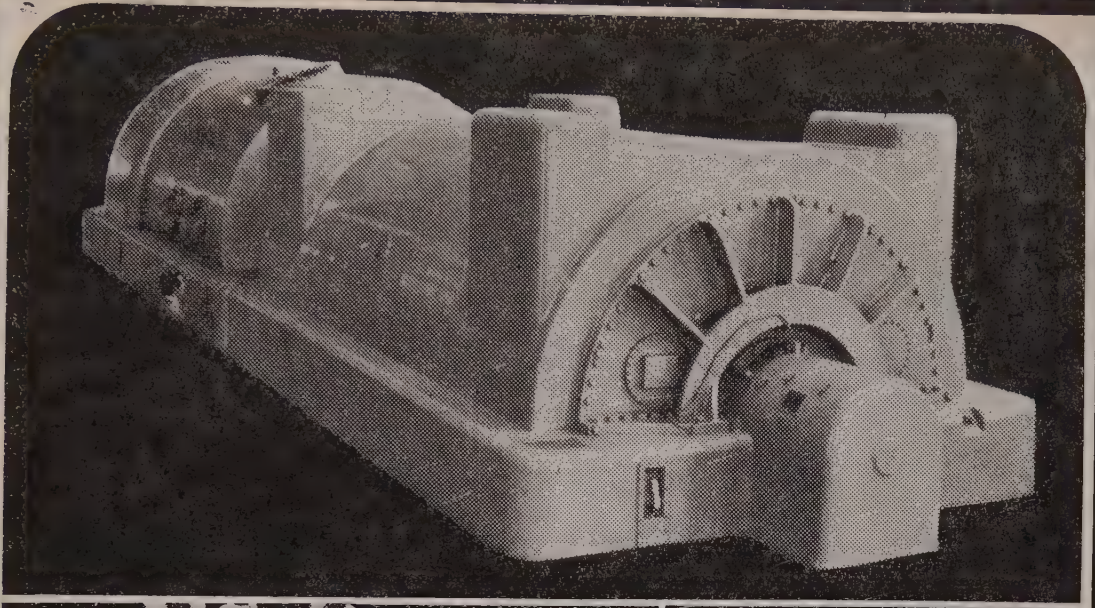


本社・第二事業部  
研究所・アポンドビル  
工場

東京都千代田区神田仲町2の11  
東京都千代田区神田旗籠町2の21  
文京・立

電話 (251) 9186 代表 (291) 2096  
電話 (251) 4 4 1 4  
川・蒲田





■電気機器の  
性能向上と軽量化に……

## 八幡製鐵の珪素鋼板

■特長

鉄損値が低く 透磁率が非常に高い  
占積率が良い  
加工が容易で作業能率が良い

■用途

変圧器、回転機、電子応用機器、等



八幡製鐵



# Measure and record DC current, 0.1 ma to 10 amps without breaking leads, without circuit loading!



New  $\Phi$  428B Clip-on DC Milliammeter with recorder output!



## SPECIFICATIONS

**Current Range:**  $\Phi$  428A, 3 ma to 1 a full scale in 6 ranges  
 $\Phi$  428B, 1 ma to 10 a full scale in 9 ranges

**Accuracy:**  $\pm 3\%$ ,  $\pm 0.1$  ma

**Probe Inductance:**  $< 0.5$  uh introduced into measured circuit

**Probe Induced Voltage:**  $< 15$  mv peak into measured circuit

**AC Rejection:** AC with peak value less than full scale affects meter accuracy less than 2% at frequencies above 5 cps and different from carrier (40 KC) and its harmonics (On 428B 10 amperes range, ac is limited to 4 amperes peak)

**Recorder/Oscillator Output:**  $\Phi$  428B, approximately 1.4 v across 1,400 ohms full scale. Frequency response dc to 300 cps

**Probe Insulation:** 300 v maximum

**Probe Tip:**  $\frac{1}{2}$ " x  $\frac{9}{32}$ ". Aperture diam.  $\frac{3}{16}$ "

**Size:** Cabinet,  $7\frac{1}{2}$ " x  $11\frac{1}{2}$ " x  $14\frac{1}{4}$ "; rack mount, 19" x 7" x 13" behind panel

**Weight:** Cabinet, 19 lbs; rack mount, 24 lbs.

Now you can measure and record dc current to 10 amps without interrupting the circuit and with no circuit loading. You simply slip the jaws of the  $\Phi$  428B probe around a bare or insulated wire and read dc, even in the presence of equally strong ac on the same wire. No need to break leads. The 428B reads dc current directly in 9 ranges by sensing the magnetic flux induced by dc current in the wire.

To measure current difference between two separate wires just clip the probe around them both and read, then reverse one lead and read their sum! For even greater sensitivity you simply increase the number of lead loops through the probe, increasing sensitivity by the same factor as the number of loops.

The recorder/oscilloscope output, dc to 300 cps, makes it easy to record dc levels as well as analyze ground buss, hum and ripple currents on an oscilloscope—all without circuit loading.

$\Phi$  also offers Model 428A Clip-on DC Milliammeter. This instrument is similar to  $\Phi$  428B except that coverage is limited to 3 ma to 1 ampere (6 ranges), the recorder output is not included, and price is somewhat lower.

日本総代理店

関商事株式会社

東京都千代田区神田東福田町一番地

電話 (866) 代表 3 1 3 6



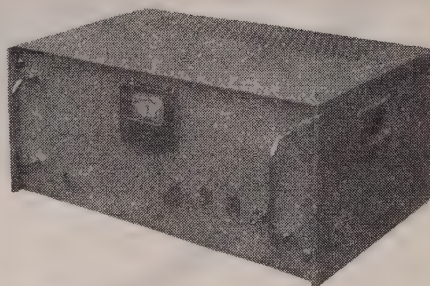
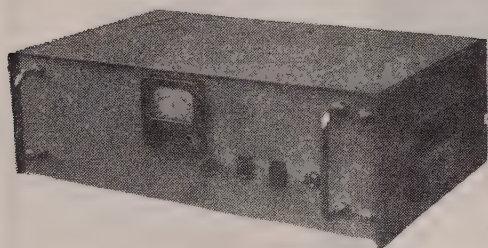
HEWLETT-PACKARD COMPANY

PALO ALTO, CALIFORNIA, U.S.A.



# 全トランジスター増巾器型 交流自動電圧調整器

# VOLCO



日本で初めての真空管増巾器式、世界で初めて磁気増巾器式自動電圧調整器を発表したVOLCOが、今回又世界で初めての全トランジスター増巾器式の自動電圧調整器を商品として市場に提供することになりました。

性能は従来の真空管式と全く同様な優秀なものです。

寿命と信頼性は従来の磁気増巾器式よりはるかにすぐれております。

## サービス代行店

**関東甲信越地区 吉沢精機工業株式会社**  
 本社 東京都文京区湯島新花町35  
 Tel. (921)1042・7088・(929)0289  
 営業所 長野市横町20  
 Tel. 長野 4601  
 新潟市下大川前石油企業会館内  
 Tel. 新潟 (3) 0603  
**中京地区 株式会社 朝日商会**  
 名古屋市中種区覚王山通3-34  
 Tel. (73) 8147-9・8140

**関西地区 株式会社 三栄商会**  
 大阪市北区東堀川町11  
 Tel. 大阪 (36) 2556-7  
**中国・四国・九州地区 新川電機株式会社**  
 本店 広島市三川町1  
 Tel. 中 (2) 9147-9・9140  
 支店 高松市南鍛冶屋町4-18  
 Tel. 高松 (2) 7343  
 福岡市上小山町3-4  
 Tel. 福岡 (2) 0514・(3) 6344

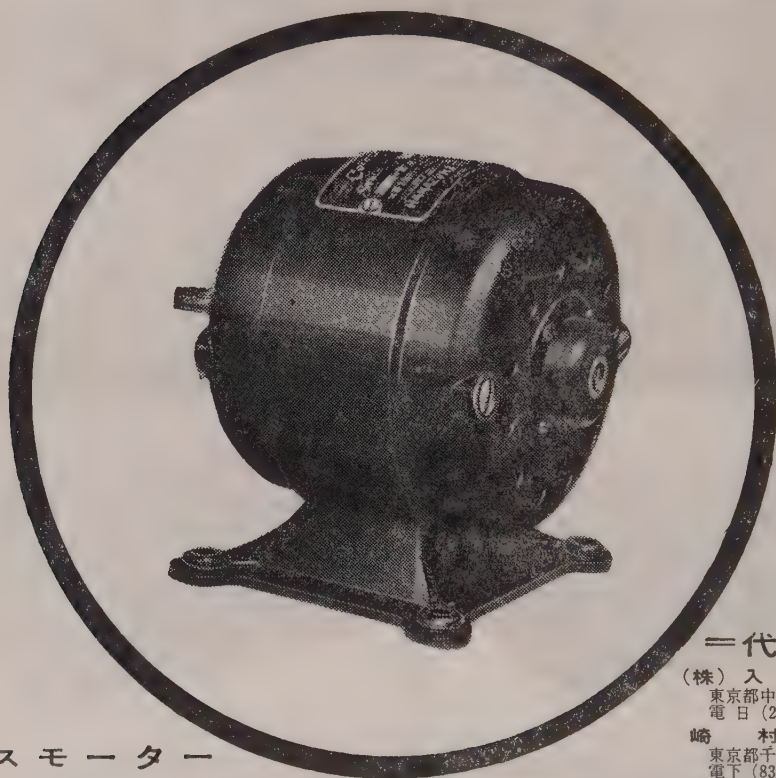
**日本電源機器株式会社**

東京都墨田区寺島町3-130 電話 (611) 2461・2971  
 出張所 大阪市東区谷町1-7 電話 (94) 1148



古き伝統と新しい技術

# コロナモーター



シーリスマーター  
シンクロナスモーター  
キャパシタースモーター

は特に量産しております。

その他 小型モーターと発電機 については  
御相談下さい。必ず御期待にそいます。



## コロナモーター株式会社

東京都目黒区東町52番地 電話 目黒(712)代表3146-⑤

### ＝代理店＝

(株)入江製作所  
東京都中央区日本橋本町4の7  
電 日(241)代表5281

崎村商店  
東京都千代田区神田五軒町42  
電下(831)9953・4346

吉沢精機工業株式会社  
東京都文京区湯島新花町35  
電小(921)1042・7088  
営業所 長野市横町20  
電話 長野 4601  
新潟市下大川前石油企業会館内  
電話 新潟(3)0603

ユタカ電業株式会社  
東京都港区芝新橋5の22  
電(501)代表8491～5

日本電化工業社  
京都市下京区河原町通り四条下ル(日生ビル)  
電下(5)2587・9247

沢電気機械株式会社  
大阪市西区上佐堀通り2の8  
電大(44)3715(代表)～9

(株)西山製作所  
大阪市東区瓦町2の15  
電北(23)5755・229・448

(有)入江製作所  
名古屋市中区大池町1の48  
電中(24)1621・6389

岩谷産業株式会社  
大阪市東区本町3  
電船(26)3251～5・8251～5  
営業所 東京・名古屋

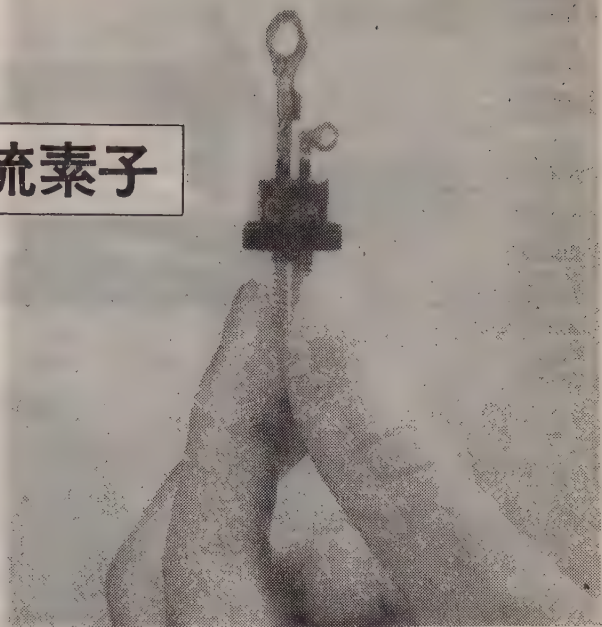


半導体技術の先端をゆく

新電元の

## シリコン制御整流素子

業界のトップを切って開発した当社のSCRは、発表以来各方面の御照会御試用を頂いておりますが、C3Bは愈量産態勢も整いましたので一般市販開始の運びになりました。尚此の外に最大出力200Aその他各種の試作も完成しておりますので、逐次市販開始の準備を進めております。



C3B型定格及び特性表(暫定)

於抵抗負荷自然空冷

	単 位	C3B02	C3B05	C3B10	C3B15	C3B20	C3B30	C3B40
連続尖頭逆耐電圧 (P.I.V.)	V	25	50	100	150	200	300	400
過渡尖頭逆耐電圧 (<5mS)	V	35	75	150	225	300	400	500
最大逆方向 (於P.I.V.)100°C漏洩電流	mA	17.5	14	7	4.7	3.5	2.3	1.75
最小正方向阻止電圧V <sub>BO</sub> min	V	25	50	100	150	200	300	400
最大正方向 (於V <sub>BO</sub> min)漏洩電流	mA	17.5	14	7	6.5	6.0	5.0	4.0
交流最大入力 (正弦波) 電圧	V <sub>r.m.s</sub>	17.5	35	70	105	140	210	280
最大出力電流	A	10	尖頭ゲート電流 Max			A	2	
直流7Aにおける正方向電圧降下	V	1.5	点弧ゲート電圧			V	0.25～3	
尖頭1サイクル過電流	A	140	点弧のゲート電流			mA	標準10～最大50	
尖頭ゲート電力 Max	W	5	熱 抵 抗			°C/W	2	
平均ゲート電力 Max	W	0.5	貯 蔵 温 度			°C	－65～＋125	
尖頭逆方向ゲート電圧 Max	V	5	動 作 温 度			°C	－65～＋100	
尖頭正方向ゲート電圧 Max	V	10						

注 1. P.I.V., V<sub>BO</sub>とは動作時ジャンクション温度における値を示す。

2. 周囲温度40°C, 150°×1t銅フィン, 自然空冷単相半波波形の場合の出力電流はC3A型11.5A, C3B型5.8Aとなる。



# 新電元工業株式會社

本社 東京都千代田区大手町 新大手町ビル 電話 (211) 2571代表  
大阪出張所 大阪市北区角田町 阪急航空ビル 電話 (36) 3294代表  
九州出張所 小倉市京町281 五十鈴ビル 電話 (5) 8431代表



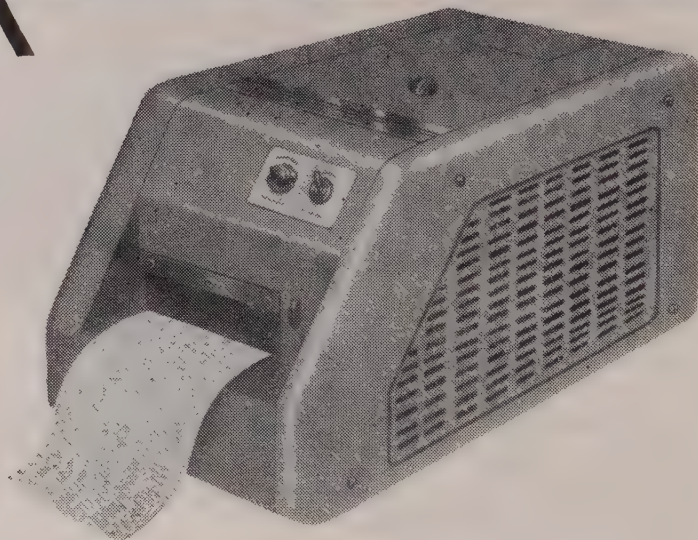
暗室からの解放、無現像方式の電磁オシログラフ

VISIGRAPH



ビシグラフ

FR-101-X型  
新製品



- 現像操作のまったく不用な
- 露光直後に観察できる
- 高感度ガルバノメーターを使用
- 大振幅でもアークエラー（円弧歪）なしに記録
- 操作も保守も容易

#### 主な仕様

#### 主要製品

インク書きオシログラフ  
電磁オシログラフ  
6現象ブラウン管オシロスコープ  
直流増幅器  
万能歪記録増幅器  
ブラウン管連続撮影装置

- エレメント数 10または12
- ガルバノメーター 電磁制動方式 高感度G型
- 光学系 30cm
- 記録紙 幅153mm, 長さ30.5m
- 記録速度 1, 2, 5, 10cm/sec (スイッチによる切換)
- 記録線速度 約750 m/sec
- 時刻  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$  sec または  $1, \frac{1}{10}$  sec
- 電源 AC 90~110 V, 50または60  $\%$  350 W
- 寸法 本体24.5×23×39, 電源部13.5×20×25.7
- 重量 本体約14kg 電源部約10kg

販売元 **三栄測器商行株式会社**

東京都新宿区柏木1-95 TEL (371) 7117~8, 8114~5

製造元 **三栄レコーダー製造株式会社** 製造元 **三栄測器株式会社**  
(記録器関係) (電子管製品関係)



日・米・英・独・スイス・特許

HIGH  
PRECISION  
PATENTED

## 世界最高水準品!! J. MICRO MOTOR

科学技術庁長官賞受賞  
特許庁長官賞受賞  
大河内記念賞受賞  
朝日新聞発明賞受賞  
科学技術庁注目発明選定

### 高信頼度 高追従性 安定性能

#### D. C. SERVO MOTOR, SERVO MOTOR GENERATOR

マイクロモーターは独特の構造をもつ極めて精巧な微小形低損失直流電動機で、短起動時定数、高信頼度を有し、自重 100 g のモーターの能率 73 % という 1/2 HP の直流電動機の能率に匹敵する高性能モーターである。

特に使用経過による作動電流の漸増傾向は全くなく性能は均一かつ安定である。当社で定めた規格テーブルの数値と製品性能との差異はなく、詳細な仕様規格によって納入します。

#### 特 徴

- |                                              |                                                       |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| (1) 各個特性の偏差が極めて少い                            | (6) $-50^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ で作動 |
| (2) 直径 18 mm 重量 43 g                         | (7) 定格出力時定格回転数 3,000, 5,000 r.p.m                     |
| (3) 高能率 0.5 W 型 52 % 2 W 型 73 %<br>(連続定格出力時) | (8) 180 g の加速度に耐える                                    |
| (4) 定格負荷連続作動 2,000 時間以上                      | (9) Hg $10^{-3}\text{mm}$ において作動                      |
| (5) 右転, 左転特性一致                               | (10) 短起動時定数 0.02 秒以下                                  |

GEARD MICRO MOTOR TYPE CL-4 B-U 60; 60 r.p.m., 2 kg-cm

Cont. Duty, RATED INPUT 2.2 W

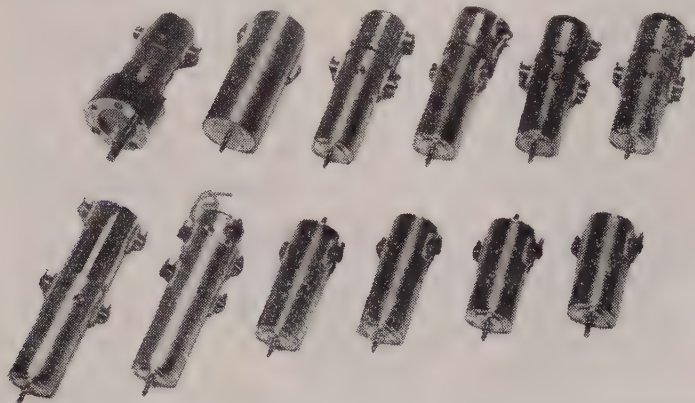
#### 製 造 品 目

微小形低損失直流電動機

微小形速度計発電機付直流電動機

微小形低損失直流発電機

信号用直流電動機



前列左より

タコジェネレーター内蔵サーボ用マイクロモーター, 同軸切換装置内蔵マイクロモーター及び CL-3R, CL-3R, CL-2A, CL-2A, マイクロモーター

トランジスタテープレコーダー用普及品もございます

## 日本マイクロモーター株式会社

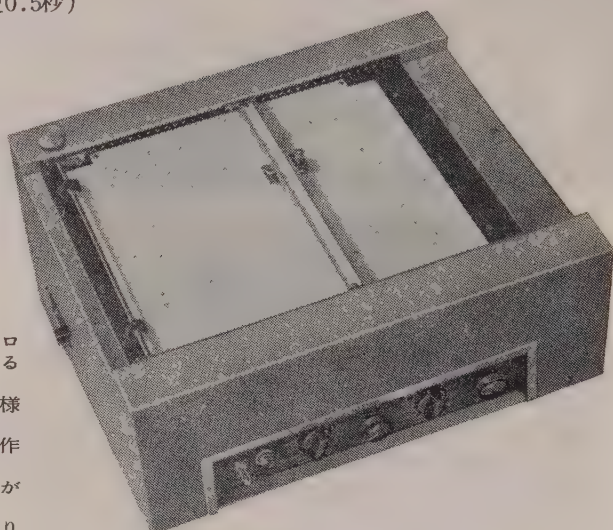
東京都目黒区下目黒 4-851 番地 電話 (713) 代表 2137~9

# 平面型X-Y軸記録計D5型

## 性能

## 万 能 型

1. 追従速度 X・Y 共 0.8 秒以内 (高速型 0.5 秒)
2. 測定電圧 DC 10mV
3. 記録紙寸法 250×250mm
4. 確 度 ±0.3%
5. 時間装置を内蔵して居り簡単な切換へで記録紙を定速度で送り普通の記録計として使用することも出来ます。

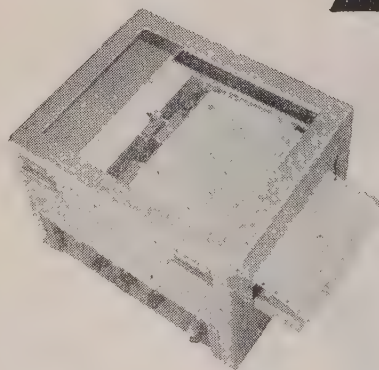


## 特長

1. 記録紙は 1 枚宛セットすることも、またロール紙 (70 枚綴りミシン入り) を使用することも出来ます。
2. 真空装置に依り記録紙は平面に密着する様になって居ります。
3. ペンの上下は外部より電氣的に自由に操作することが出来ます。
4. 制御回路を有し指示の OVER Shoot がありません。
5. 電源電圧の変動に対して指度に影響がありません。

*Speedex* 全トランジスタ式

## 高速平衡記録計 (ER-G1) (ER-G2)



## 性能

- ER-J1 フルスケール 0.5 秒  
ER-J2 (150mm) 0.15 秒  
測定電圧 DC 10mV  
確 度 ±0.3%  
記録紙速度 10 段可変

- 追従速度 ER-G1 0.7 秒 フルスケール  
ER-G2 0.3" (250mm)  
二素子 ER-H1 0.3" フルスケール  
ER-H2 0.15" (100)+(100)  
(150mm)+(50mm) もあります。

## 営業品目

X-Y 軸 記 録 計  
高 速 平 衡 記 録 計  
B-H 特性自動記録装置  
極座標記録装置  
微小直流電圧計

株式会社 理 化 電 機 研 究 所

東京都目黒区中目黒 3-1-19 電話 712-3549・713-8319

関西地区代理店

日 本 測 器 株 式 会 社

大阪営業所

大阪市北区茶屋町 38 番地 電話 大阪 (37) 代表 5271 番



—日測電子の—

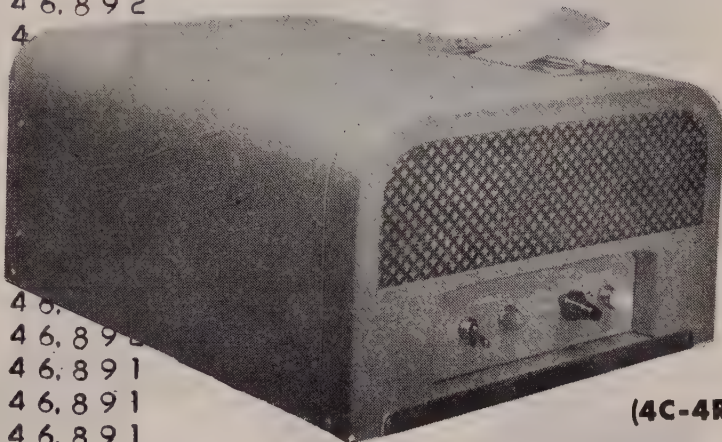
# デジタル プリンター

9.752  
9.752  
9.752  
9.752  
214,569 T

246,892  
246,892  
24  
2  
2  
2  
2  
2  
2  
2  
246,  
246,892  
246,891  
246,891  
246,891  
3,703,386 T

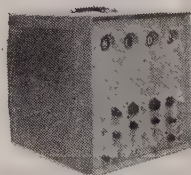
98,765,432  
9,876,543 -  
88,888,889 T

98,765,432  
9,876,543 -  
9,876,543 -  
9,876,543 -  
9,876,543 -  
9,876,543 -  
9,876,543 -  
39,506,174 T

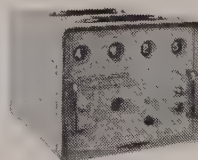


(4C-4RB)

型式・設置型及びラック型の二種あり。  
特長・データーの印字及び加減算が可能。  
印字機構は米国クラリー社製



(4C-4B)



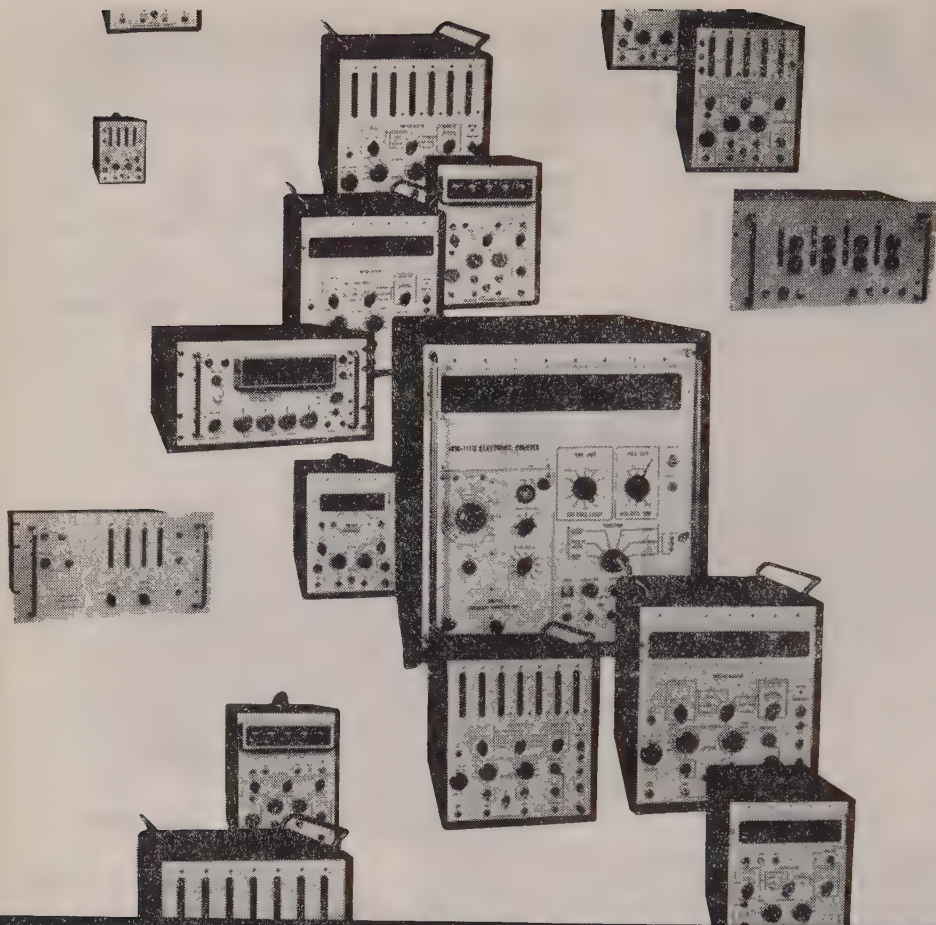
(PS-301)

各種エレクトロニック  
カウンタ及びA.D  
変換器等、  
あらゆるデジタル計  
測器の出力を直結記録  
することができます。

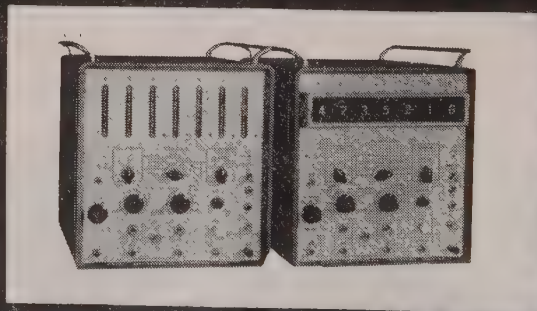


## 日測電子工業株式会社

東京都港区芝金杉浜町70番地 TEL.(451) 1815



カウンタの専門メーカー



リ研



# エレクトロニクスは研究 する会社から生まれます

現場に 管理室に 研究室に カウンタはな  
くではならぬものになりました。

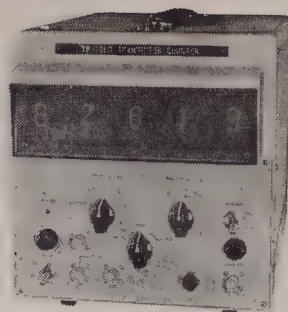
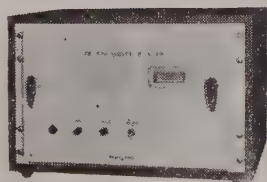
タケダ理研の 100シリーズ・カウンタには、  
低速型(計数速度 30KC)から高速度型  
(計数速度 10MC)まで各種があって、しかも  
ユニバーサル型ですから、周波数・周期・時  
間、周波数比、頻度の測定が1台でできます。

■周波数測定は、周波数変換器ユニットを用  
いて、220MCまで測れます。

■かずかずの開発研究を行ない、国電1号の  
cds コード変換素子を用いた数字表示管に  
よる表示方式がとられています。

## — TR-278 Digital Recorder

100 シリーズのカウンタの  
うちモディフィケーション D  
に直結して計数結果を記録し  
ます。記録容量10桁、記録  
速度 毎秒1行 max



## -TR-105D

## トランジスタ カウンタ

■本器はトランジスタを回路素子に用い、プ  
リント配線の技術を駆使して、非常に小型軽  
量なセットになっています。

■タケダ理研が、日本ではじめて開発したcds  
コード変換素子を用いていますので、トラン  
ジスタ式としては最初の数字表示管による表  
示方式をとっています。このため、読みとりの  
誤まりがほとんどなくなり、またデジタル  
・プリンタにも直結できます。

■測定に際して、優れた移動性を発揮し、ま  
たユニット機器としても絶好のスペースファ  
クタです。

### 性 能

周波数範囲 : DC~2.5MC  
時間範囲 :  $3\mu s \sim 10,000s (2.7h)$   
周期範囲 :  $0.00001cps \sim 10KC$   
周波数比範囲 :  $1/1 \sim 1/10^4$   
回転数範囲 : 0~30万rpm  
精 度 :  $\pm 1 \pm 5 \times 10^{-5}$

## タケダ理研工業株式会社

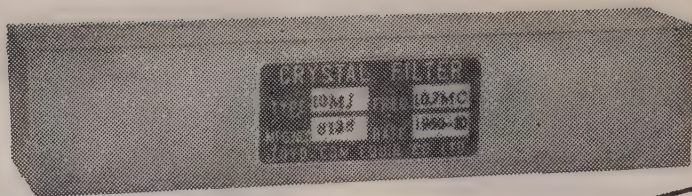
本 社 ・ 東 京 都 練 馬 区 旭 町 285

電 話 (933) 4111 代 表

営業所 ・ 大阪市北区梅ヶ枝町71 ヤノシゲビル

電 話 (312) 2695 直通、0051代表

# 新製品



## 10.7MC SERIES STANDARD CRYSTAL FILTERS

### APPLICATIONS

• AM, FM, SSB RECEIVERS • DOPPLER RADAR SYSTEMS • FSK SYSTEMS  
• FIXED CHANNEL RECEIVERS • SPECTRUM ANALYZERS

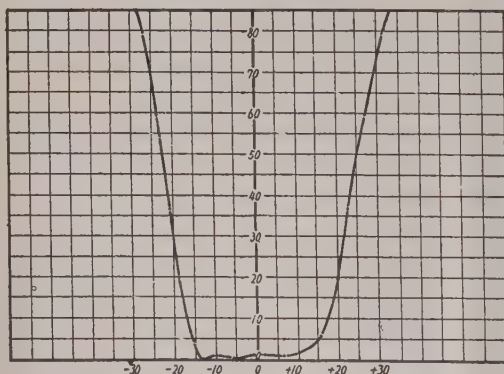
### SYMMETRICAL BANDPASS

MODEL NO	CENTER FREQUENCY	BANDWIDTH 6 db	BANDWIDTH 60 db	INSERTION LOSS (MAX)	PASS BAND VARIATION (MAX)	IMPEDANCE OHMS (NOMINAL)	CASE SIZE L. W. H
10 M-A	10.7 Mc	30 Kc	60 Kc	6 db	3 db	2,500	80 × 24 × 30mm
10 M-B	"	15 Kc	30 Kc	"	"	1,000	"
10 M-E	"	6 Kc	15 Kc	"	2 db	500	"
10 M-F	"	3.5 Kc	10 Kc	"	"	300	"
10 M-H	"	0.5 Kc	2 Kc	"	"	2,000	"
10 M-J	"	30 Kc	50 Kc (75 db)	8 db	3 db	2,000	117 × 24 × 30 <sup>mm</sup>

### CRYSTAL DISCRIMINATOR

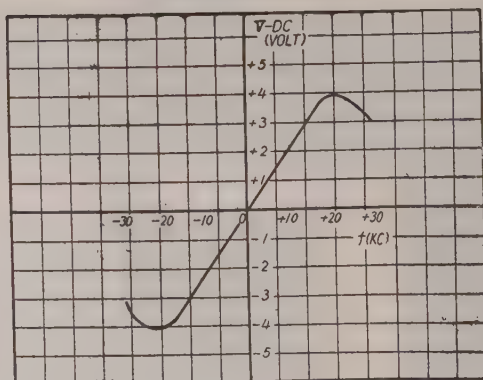
MODEL NO	CENTER FREQ	BAND WIDTH	IMPEDANCE OHMS	CASE SIZE L.W.H.
10M-D C	10.7 Mc	50 Kc PEAK TO PEAK	INPUT 10K. OUTPUT 500K	25 × 20 × 25mm

MODEL 10-MA  
ATTENUATION VS. FREQUENCY



FREQUENCY IN Kc FROM 10.7Mc  
CENTER FREQUENCY

MODEL 10M-DC  
10.7Mc DISCRIMINATOR



FREQUENCY IN Kc FROM 10.7Mc  
CENTER FREQUENCY

同一外形互換性を考えた10.7Mc 系例既設計、高信頼性の高周波水晶炉波器を御推奨いたします。  
尚、特に新規設計にも応じますから何卒御用命の程御待ち申上げて居ります。



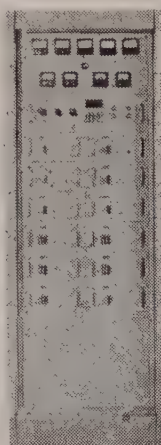
## 東洋通信機株式會社

本社及工場 神奈川県川崎市塚越3丁目484番地 電話 川崎(2)3771~3779, 2766  
東京営業所 東京都千代田区霞ヶ関3丁目3番地 鋼板ビル内 電話 東京(591)1973, 1974  
大阪営業所 大阪府西区江戸堀上通り2丁目37番地(葺吉ビル) 電話 土佐堀(44)4332~6  
福岡営業所 福岡市天神町58番地 天神ビル 電話 福岡(75)6031, 6416

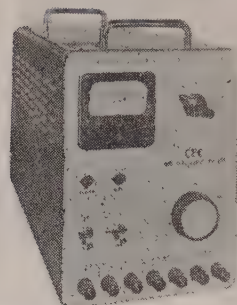


# C&C 直流安定化電源装置

**505A形** 出力を完全に短落しても **121形**  
(全トランジスタ式) 安心です。(特許出願中) (全トランジスタ式)



**505C形**  
(電子管式)



本器は出力電圧100~500V(連続可変)で300mA(最大)の電源が供給できる高電圧直流安定化電源であります。

本器は出力電圧0~40V(連続可変)で6A(最大)の電流が供給できる直流安定化電源であります。

出力電圧 0~40V 連続可変  
出力電流 6A  
出力電圧安定度  $\pm 0.5\%$  以内  
リップル含有量 2mV 以下  
内部抵抗  $0.01\Omega$  以下  
入力電源 AC100V 50~60%  
単相  
消費電力 最大300VA

本装置は多種類の安定化直流電源を電子計算機用または自動制御プラント用に適するよう総括し、それらの各回路の保護ならびに警報回路を有し、またリレー等による制御運転回路を有する総合電源装置であります  
(仕様により各種を製作しております。)

入力電源 定格(I) AC200V 3相 50/60%  
定格(II) AC100V、単相 電圧変動  $\pm 5\%$  以内

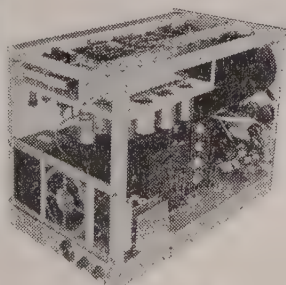
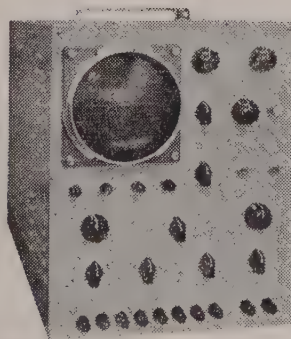
1. 安定化直流高圧  
出力 100~500V 0~300mA  
安定度  $\pm 0.05\%$  以内  
リップル 1mV 以下
2. 縦糸用直流出力  
出力 5.7~6.9VDC 0~1A  
安定度  $\pm 0.5\%$  以内  
リップル 10mV 以下
3. 縦糸用交流出力(2系統)  
出力電圧 6.3V AC (unreg.)  
出力電流 3A

## B-H Curve Tracer

強磁性体(特にトロイダルコア)の品質管理および研究用としての決定版!

**124形**

本器は後段加速形5インチブラウン管を有するシンクロスコープ系統と2個の直流増巾器を有する検出系統を結合することにより、試料4個を接続し任意の2個を同時に比較および定量測定することができるようになっておりますので、従来この種測定装置では非常に困難であった比較および定量測定をパネル面のツマミで簡単に行なうことができます。



測定項目 1.  $B=B(t)$  磁束密度波計  
2.  $H=H(t)$  磁界波形  
3.  $B=B(H)$  B-Hカーブ  
4.  $B=\frac{dB}{dt}(t)$  巻線出力  
測定周波数 50, 60, 350, 420, 1,000, 1,200%  
感度 B軸 10mV/cm~10V/cm  
H軸 100mV/cm~10V/cm  
位相差  $1^\circ \sim 100^\circ \pm 5^\circ$   
使用CRT 5ABP1  
入力電源 90~110V、50~60%

呈カタログ

# 中央電子株式会社

東京都八王子市元本郷町2-155

TEL 八王子(026)2局2380・6748~9

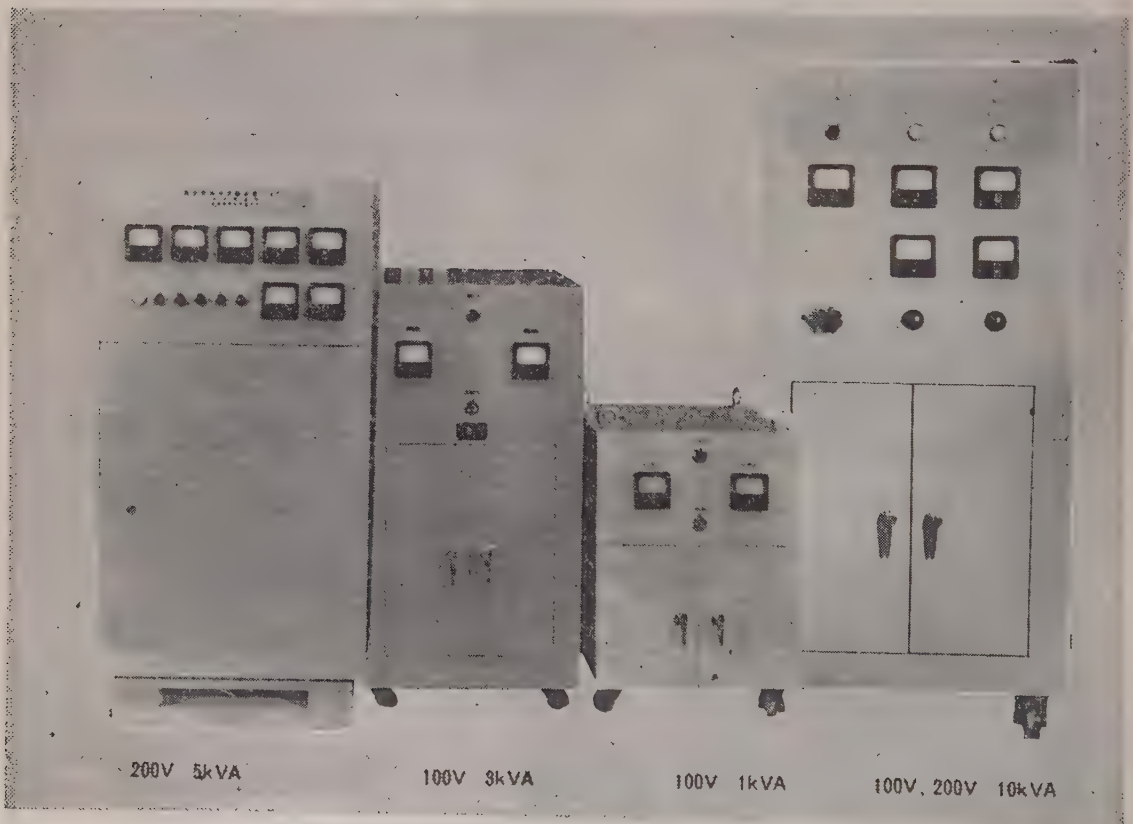
最新型高性能 (特許出願中)

# INSTAT 交流自動電圧調整器

☒ インスタット交流自動電圧調整器は、**済美電気**が、世界にさがけて開発した最新機です。インスタットは、下記の特長をもっています。

- ①小型軽量 (増巾部は全トランジスター方式) ②完全な実効値検出 ③ノードリフト (温度変化等に対して出力のずれがない) ④ $\pm 0.1\%$ の精度 (電源電圧 $\pm 10\%$  負荷 $0 \sim 100\%$ ) ⑤高い速応性

☒ 製作容量 0.2 0.5 1 3 5 7 10kVA



営業品目 ☒

AC, AVR DC, AVR ☒

鉄共振型定電圧装置 ☒

静止励磁機 ACG, AVR ☒

誘導型 AVR 教育用磁気増巾器 ☒

高圧大容量可飽和リアクトル ☒

サーボ増巾器 其他制御装置 ☒

**済美電気株式会社**

東京都町田市 TEL (0274) 2193 (代表)

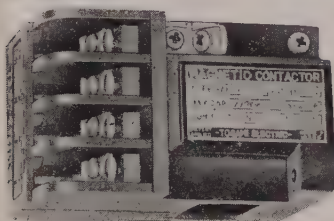
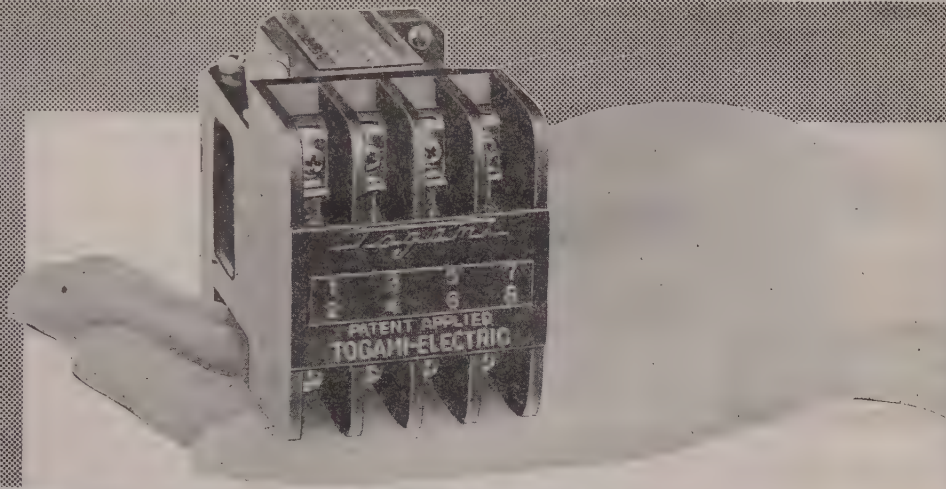




Togami

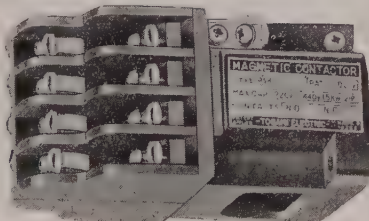
# PAK 7型 電磁開閉器 補助継電器 生まる

1. 1.5 KW (2HP) までのモートルの安全運転と、各種機器のオートメ制御に最適です
2. 写真の如く超小型で性能、信頼度高く、オートメ用補助継電器として、その利用率が高い



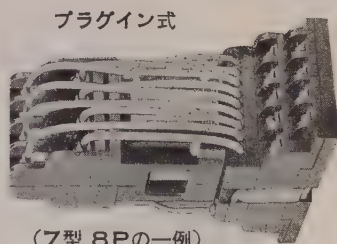
7型 補助継電器 4P

モーター起動用の場合 (7A) … 4a  
補助継電器として (10A) … 標準 4a  
応用例 (10A) … 3a 1b, 2a 2b



7型 8P (2段式構造)

本器は左図の 4P を 2 段式の 8P とし、  
主として継電器用で、4a 4b を標準と  
します。

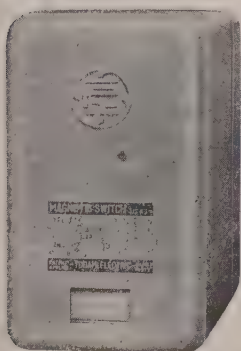


プラグイン式

(7型 8P の一例)

最近コントロールセンター等の電磁開閉器  
や補助継電器類は、プラグイン式となり  
急速に取換える事を得るようになりつつ  
あります。本 7 型もプラグインベースを  
用意しております。なお大型用は配電盤  
に引出し方式とすることもできます。

7 型には専用の  
超小型熱動継電  
器があり簡単に  
取付可能です。



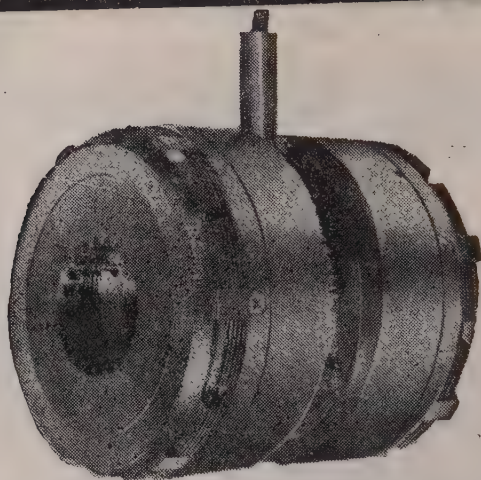
7型 電磁開閉器



本器の内部構造

戸上電機製作所

東京 営業 所	一港区芝虎ノ門	実業会館ビル	(電・(501) 0431 代表)
大阪 営業 所	一北区芝田町44	芝田ビル	(電・(312) 3271~5)
名古屋 営業 所	一名古屋駅前	住友銀行ビル	(電・(54) 0623・2723)
福岡 営業 所	一天神町58	天神ビル	(電・(74) 0860・0868~9)
札幌 営業 所	一大通西5丁目	大五ビル	(電・(2) 3699 (4) 4910)
仙台 営業 所	一仙台市駅前第一ビル	6階	(電・仙台 (5) 0791)
東京戸上 商事	一千代田区神田旭町	大審ビル	(電・(251) 5285・7546・9645)
大阪戸上 商事	一北区芝田町44	芝田ビル	(電代・(312) 3851)
広島出張 所	一広島市三川町中央通23		(電・(2) 5297)
静岡出張 所	一静岡市瀬戸町5ノ7		(電・(2) 0862)
富山出張 所	一富山市安住町22		(電・富山 (2) 8471)
宇部出張 所	一宇部市西区松島町2丁目2ノ5		(電・宇部 (2) 2593)
本社工場	一佐賀市大財町385		(電・佐賀 (代表) 4121)
名古屋工場	一熱田区花表町3ノ18		(電・(88) 7487・9420)



# 神鋼

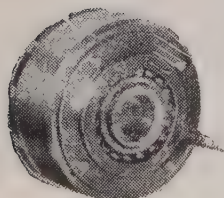
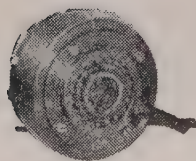
小型湿式多板

## 工作機械、産業機械の 自動化と能率向上に 電磁クラッチ 電磁ブレーキ

電磁クラッチ ブレーキ コンビネーション

### ■特長

- 寸法最小……最小の寸法で最大のトルクを発揮させます
- 残留トルク1%以下……独特の設計により残留トルクを画期的に少なくしました
- 刷子不要……装備並びに保守が容易です
- 調整永久不要……取付後の調整は一切不要です
- 取付簡単……取付部の歯切・加工を要しません



小型乾式多板電磁クラッチ・ブレーキも製作いたします。その他1000KW以上の大容量の電磁クラッチまで各種の豊富な型式を擁しています。



## 神鋼電機株式会社

本社 東京都中央区西八丁堀1の4  
営業所 東京 大阪 名古屋 神戸 小倉 広島 札幌 富山



# 600kV試験送電に挑む

## 日新の600kV試験送電用 コロナ損失測定装置



電力中央研究所 塩原試験場

### 600kV三相試験送電線コロナ損失測定装置

本装置は電力中央研究所の600kV塩原試験場に設置されている弊社が製作したコロナ損失測定装置であります。

太い碍管が標準コンデンサ、細い碍管がパルス通路、上部は電力計、電流計などの送量器収納箱からなっており、試験送電線路の導体コロナ損を高圧測で測定し、これを光パルスに変換し、地上送量して測定するものです。

#### 測定方式

送電線充電電流補償方式を用い高圧測で測定する。

#### 測定要素

回転力平衡形電力計  
伝送方法 光パルス  
伝送方式。

#### 測定範囲

0.5kw 0.5 $\sqrt{10}$ kw  
5kw 5 $\sqrt{10}$ kw  
50kw

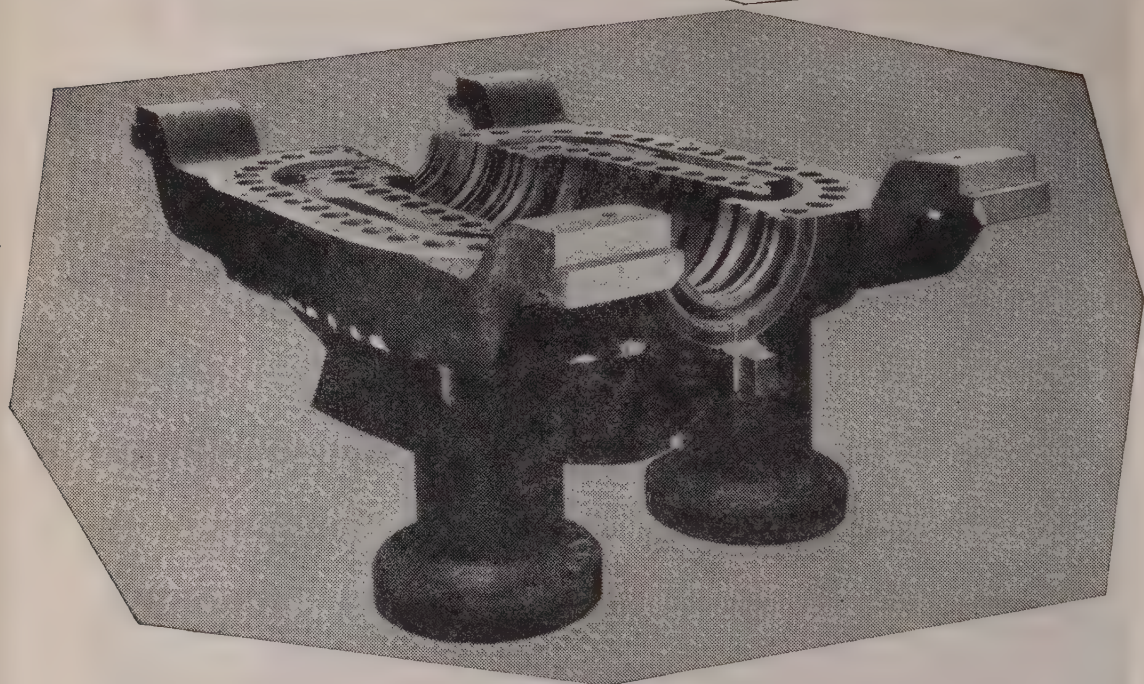


## 日新電機株式会社

本社・工場 京都市右京区梅津高畝町20番地 電話 京都 (86)1131(代)

支 社 東 京・大 阪・名 古 屋

出張所 札幌・仙台・富山・広島・高松・福岡・八幡



単純で

頑丈な構造の

二重ケーシング

この高圧二重ケーシングは構造が単純なため製造が容易であり、且つ運転時の一時的な不等熱分布の問題避け得るものであります。

ローターは比較的大型で、そのサイズも内部ケーシングと殆んど同じです。此の事はケーシングとローター間の不等膨脹を最少限度に止め、冷却時或は温暖時何れの状態からでも起動を大いに容易にする助けとなるものであります。

これらの特徴は英国ゼネラル・エレクトリック社の工場及び研究所で研究開発されたG. E. C. タービン発電機のもつすぐれた設計特徴のほんの三三の例にすぎません。

G. E. C. 再熱タービン発電機は高い効力... 大きな能率... 広い運用範囲三位一体の最高のものです。

在日英国ジェネラル・エレクトリック株式会社では発電機の供給から発電所の建設まで一貫して請負い、現在、茨城県東海村で電子力発電所の建設にも従事しております。日本G・E・C・社のバックには世界最大の技術会社英国ゼネラル・エレクトリック社の技術と経験が輝いております。

461

在日英国ジェネラル・エレクトリック株式会社 東京都千代田区丸ノ内2丁目8番地（仲十別館） 電話 211-6735

長年の経験  
信用絶対の  
このマーク

**B. E. C.**



Sansha

# ゲルマニウム整流器

## セレン整流器 ・ シリコン整流器

水冷式ゲルマニウム整流器

16V 6000A

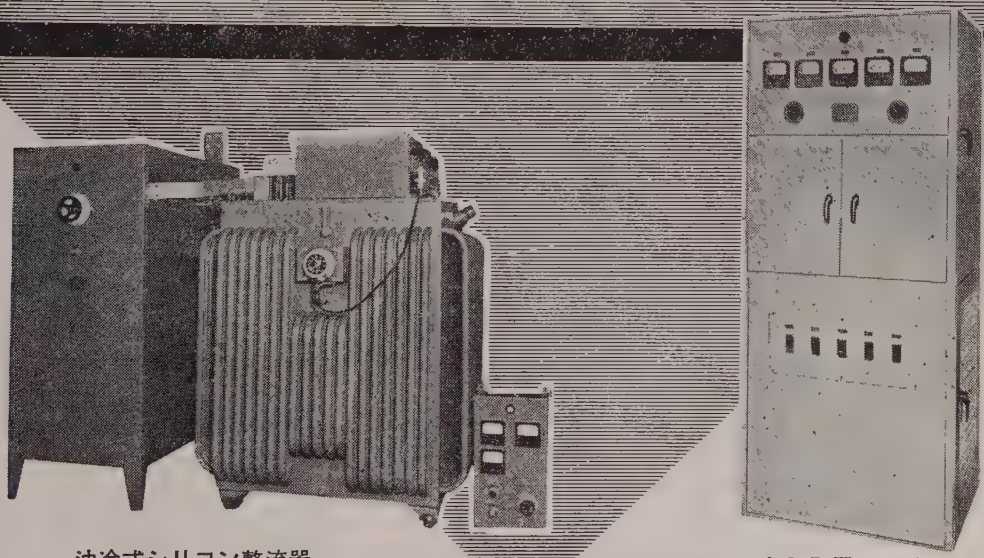
40V 6000A



油冷式シリコン整流器

105V 50A

シリコン整流器



### 株式会社 三社電機製作所

本社・工場 大阪市東淀川区洪路本町1の150 電(37)6636-9  
東京出張所 東京都港区芝罘平町30 電(501)9911-2





# トランスとともに 40余年

ダイヘンの配電用柱上トランスは創業  
いらい40余年間で生産総計200万  
台をはるかに突破し・わが国のトップ  
メーカーです

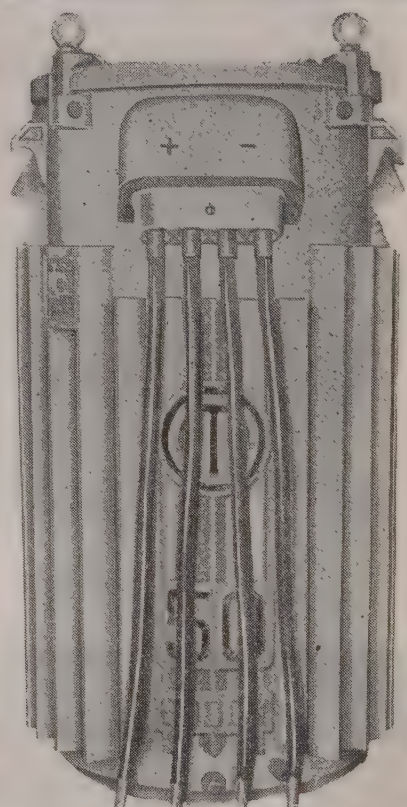
また50,000KVA, 100KV級  
までの電力用トランスの生産高もトッ  
プクラスで、その専門技術と良心的製  
作は定評をいただいています。

各産業界で要求される新時代のさまざ  
まな特種トランスについても豊富な専  
門技術陣が総力を結集し、あらゆるご  
希望におこたえしています。

トランスと溶接機の専門技術は

## DAIHEN

### Ⓢ 大阪変圧器



本社及変圧器事業部

大阪市東淀川区元今里北通3の14

溶接機事業部

大阪府三島郡三島町大字坪井530

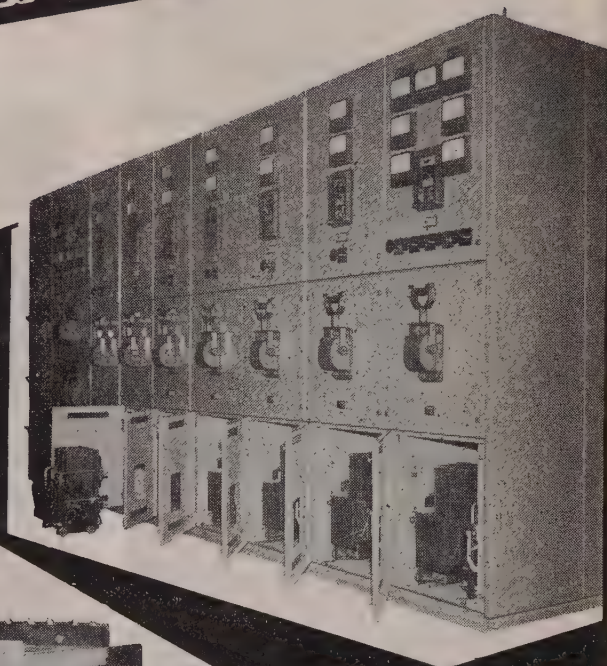


受配電設備に

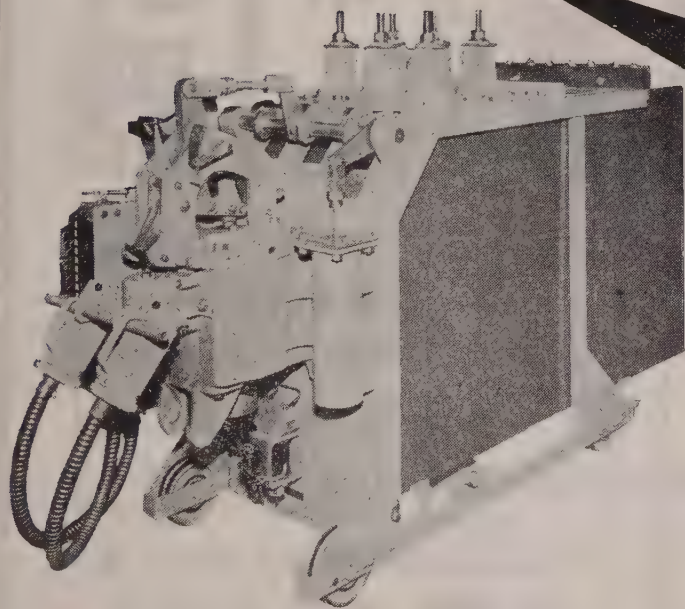
活躍している

Inoue Denki

6 MV-15-S 7.200 V  
800 A 150 MVA  
磁気しゃ断器



ロードセンター低圧側



気中しゃ断器をDA形引出構造とし  
背面に引込端子と引出口をもうけた  
低圧盤で盤面中段の操作把手は母線  
切快断路用

下段の把手が気中しゃ断器用です  
正面左側にデッドフロント刃形開閉  
器がありそのフェーズの取替は背面  
扉を開いて行います扉はすべて化粧  
板に成っており低圧大容量し  
ゃ断器として好評を博しております

株式会社 井上電機製作所

本社工場 京都市外向日町電39 8121



# 東洋の計器

## 電気計器 メーターリレー 電気式回転計

(カタログ贈呈)

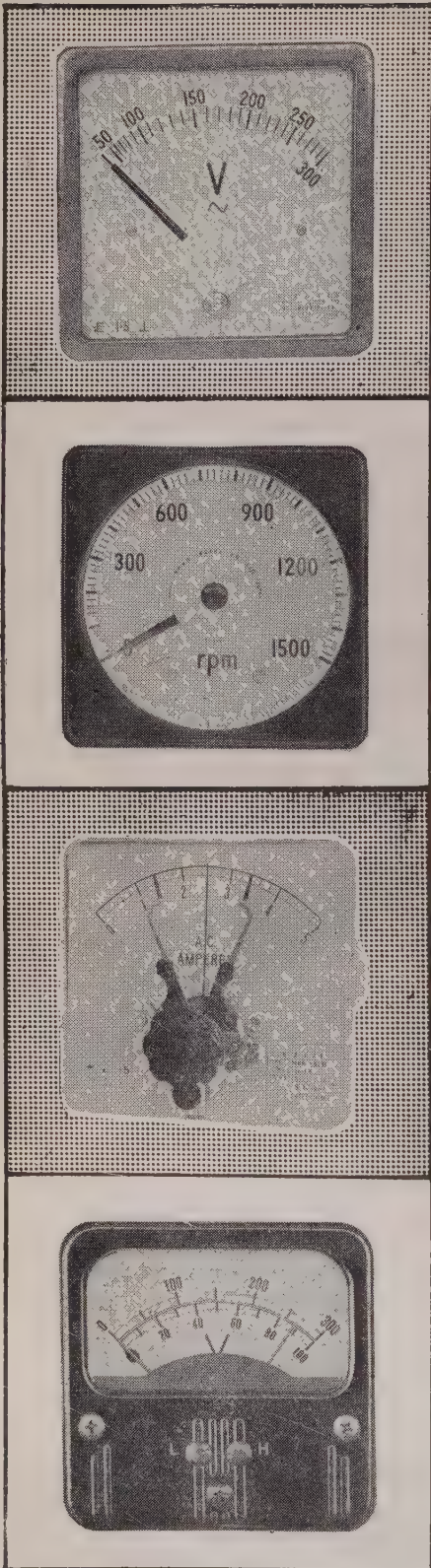
### 営業品目

携帯用・配電盤用・パネル用  
指示電気計器  
強圧式メーターリレー・電気式回転計

㊦ 日本工業規格表示許可工場

### 東洋計器株式会社

本社・工場 大阪市南区南炭屋町11 電話(75)3576~7・2460・2552  
第二工場 大阪市東淀川区下新庄町2の213 電話(38)5246  
東京営業所 東京都渋谷区恵比寿通り2の13 電話(441)3643  
京都営業所 京都市中京区壺井町23の25 電話(84)429





# 猫の手も 借りたい!

昔にくらべて人間の時間と労力が大変高価なものになってきました。それでなんでもボタンひとつでできるようになってきています。それ専用に作られたのが当社のレバーシブルモーターです。つまり簡単なスイッチやリレーで正逆転でき、しかも30分定格で小型にできています。特に猫の手も借りたいような向きにどうぞ。



価格 4,930円より

出力 2,4,7,20,40W

## オリエンタルモーター株式会社

東京都台東区浅草小島町2〜3 1 電 (851) 3 1 4 8 (代)

大阪市北区芝田町9 7 新梅田ビル 電 (36) 9 7 0 9 (直)



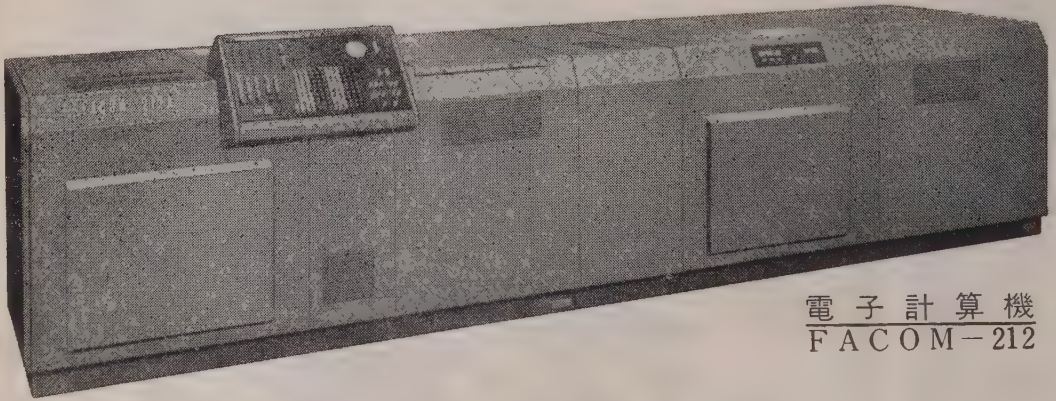
カタログは当社広告係宛御請求下さい

FACOM-212 は IBM と結合して今すぐお使いになれます。

あなたの会社の経営方針策決定にオフィスオートメーションの用具として FACOM-212 はこんなに役立ちます。

例えば

予算統制、資材管理、在庫管理、工程管理、給料計算、販売統計事務の他、市場調査に関する諸統計処理や経営分析計算は、この FACOM-212 にとって最も得意とする分野です。



電子計算機  
FACOM-212

# 富士通

## 電子計算機

### FACOM-212

電子計算機の御購入の便宜をはかるため、このたびレンタルシステムを採用した国策会社・日本電子計算機株式会社が設立されました。詳細は弊社に御問合せください。



### 富士通信機製造株式会社

東京都千代田区丸の内3の2 電話 (281) 6221 (大代表)

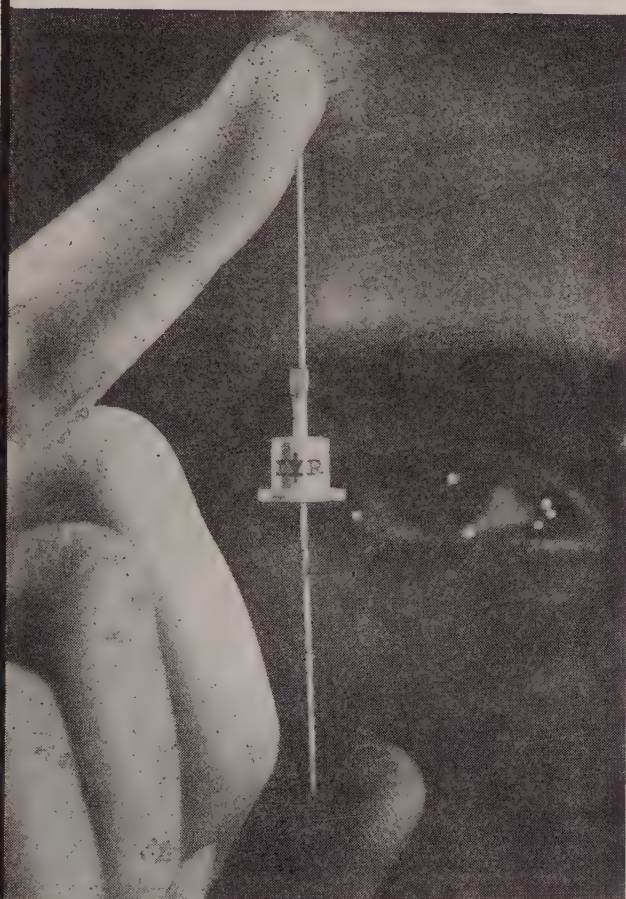
富士通電算機センター 東京都港区芝田村町5の9 (浜ゴムビル) 電話 (501) 7221 (代表)





# "ツェナーダイオード"

1 W 3.5 W 10 W 三種発売



1 W型

## 用 途

電気測定計器・計算機・通信機・科学機械・オートメーション装置・航空計器・工業用計器等の定電圧及定電流装置の規準電圧用、補償回路用

○シリコン素子は完全にハーメチックシールされている

○飽和電流が非常に小さい

○急激な降伏現象を持っている

○ツェナー電圧の温度変化が比較的小さい

○動作温度範囲が広い $-65^{\circ}\text{C} \sim +165^{\circ}\text{C}$ まで

型 名	ツェナー電圧 V (電圧精度 $\pm 10\%$ )	試験電流 mA	最大ツェナー-DC 電流 mA	温度係数
1 W シ リ ー ズ				
1 Z 3.9	3.9	50	250	$-0.04$
1 Z 4.7	4.7	40	200	0
1 Z 5.6	5.6	35	175	$+0.03$
1 Z 6.8	6.8	30	150	$+0.05$
1 Z 8.2	8.2	25	120	$+0.06$
1 Z 10	10	20	100	$+0.07$
1 Z 12	12	15	80	$+0.075$
1 Z 15	15	13	65	$+0.08$
1 Z 18	18	10	55	$+0.085$
1 Z 22	22	9	45	$+0.09$
1 Z 27	27	7	35	$+0.095$
3.5 W シ リ ー ズ				
3 Z 3.9	3.9	150	850	$-0.04$
3 Z 4.7	4.7	125	700	0
3 Z 5.6	5.6	110	625	$+0.03$
3 Z 6.8	6.8	100	525	$+0.05$
3 Z 8.2	8.2	80	425	$+0.06$
3 Z 10	10	70	350	$+0.07$
3 Z 12	12	50	275	$+0.075$
3 Z 15	15	40	225	$+0.08$
3 Z 18	18	35	200	$+0.085$
3 Z 22	22	30	160	$+0.09$
3 Z 27	27	25	125	$+0.095$
10 W シ リ ー ズ				
10 Z 3.9	3.9	500	2,500	$-0.04$
10 Z 4.7	4.7	400	2,000	0
10 Z 5.6	5.6	350	1,750	$+0.03$
10 Z 6.8	6.8	300	1,500	$+0.05$
10 Z 8.2	8.2	250	1,200	$+0.06$
10 Z 10	10	200	1,000	$+0.07$
10 Z 12	12	170	850	$+0.075$
10 Z 15	15	140	650	$+0.08$
10 Z 18	18	110	550	$+0.085$
10 Z 22	22	90	450	$+0.09$
10 Z 27	27	70	350	$+0.095$

## 日本インターナショナル整流器株式会社

東京営業所  
大阪出張所  
名古屋出張所  
本社・工場

東京都千代田区神田須田町1の24番地(ニシバビル) TEL(291)6246代表・直通8986・8996番  
大阪市北区梅ヶ枝町92番地(ヤノシゲビル)  
名古屋市中区鶴重町2の11番地(田中ビル)  
神奈川県秦野市曾屋1204番地

TEL(312)0051~6番  
TEL(97)2872番  
TEL秦野 848番



シエルのエピコート®を基材とした  
(エポキシ樹脂)

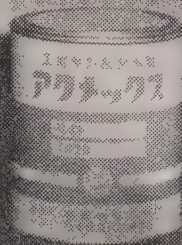
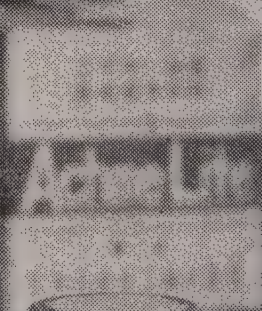
**AchmeX**®

ア ク メ ッ ク ス  
卓越した性質と容易に作業  
できるように二次加工した  
エポキシ樹脂です。

**Achme Lite**®

ア ク メ ラ イ ト  
フェノール樹脂成型粉末  
と同じ製法で簡単に成型  
できる画期的なエポキシ  
樹脂圧縮成型粉末です  
アクメライトは製造特許の品です

製造 / 日本合成化工株式会社



発売元

**島貿易株式会社**

本店  
東京支店  
名古屋営業所

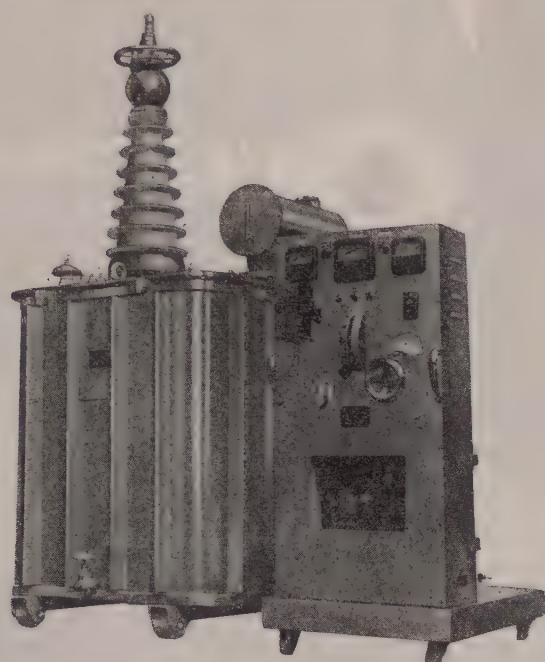
大阪市東区高麗橋4の11  
東京都中央区八重洲1の3  
名古屋市中区東雲町51(公園ビル内)

電話 (23) 2954-9・7448  
電話 (271) 3167-9・9923  
電話 (32) 6647-6668

エピコート®は本社の登録商標です



# 聖電工業の高電圧発生装置・電源変圧器



AC 15KVA 150KV 発生装置

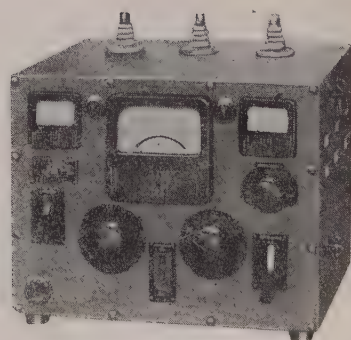
## 製造品目

### 各種変圧器

交・直流高電圧発生装置  
絶縁耐力試験装置  
静電塗装及着毛用直流電源装置  
電気炉・乾燥炉用変圧器  
通信機用電源変圧器  
着火用イグニショントランス  
インダクション、テスラーコイル  
スリムライン用安定器  
高周波発生装置  
リアクター、チョークコイル



DC-100KV 発生装置

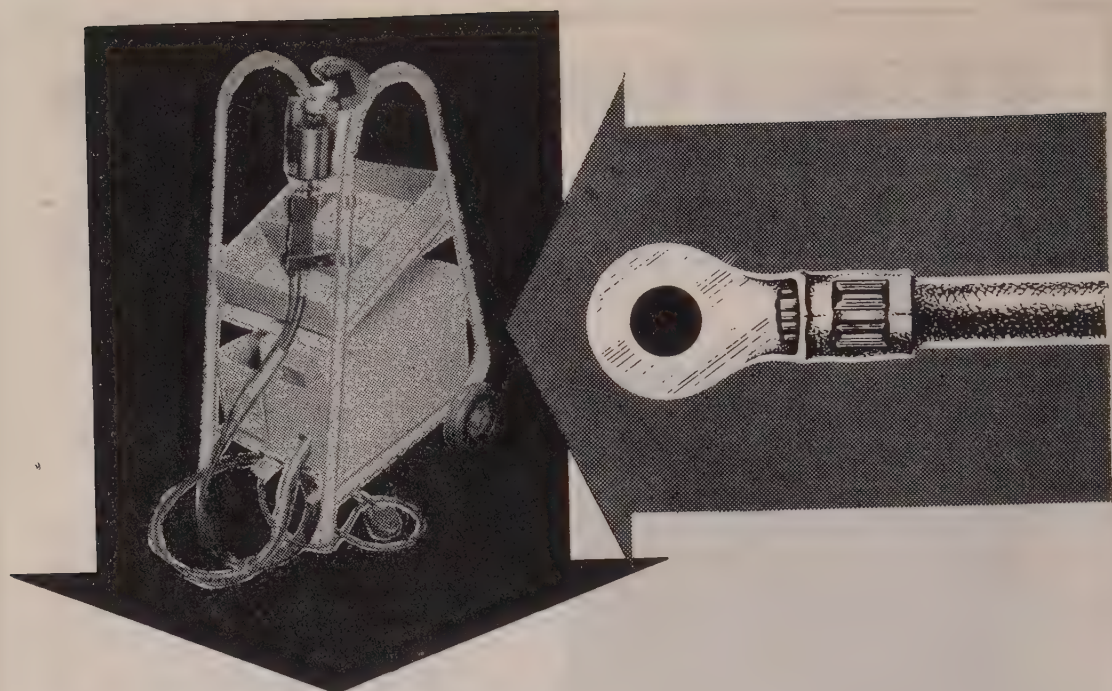


A, C/D, C 共用 1KVA 0~20KV



## 聖電工業株式会社

本社工場 東京都大田区下丸子町94番地 TEL (731) 1780-3719-5773  
第二工場 東京都大田区下丸子町134番地 TEL (731) 8 2 9 0



# この名コンビ...

## A-MP ターミナルと A-MP 圧着工具！

詳細は下記へお問合せ下さい。

日本総販売店  
**東洋端子株式会社**

資本金 四億円 取締役社長 本田敬之  
東京都中央区日本橋江戸橋3-2 第二丸善ビル  
Tel. (201) 9 2 3 1 代表

営業所：大阪・名古屋・福岡・札幌

製造

**日本AMP株式会社**

A-MPターミナルはA-MP工具で圧着されるように、またA-MP工具はA-MPターミナルを圧着するように設計してありますので、これら相互と電線とを組合わせて使用した時にはじめて、その結線は信頼のおける完全な機械的、電気的性能を発揮します。

A-MPターミナルにはおよそ15,000種あって、あらゆる種類の電気結線に使用することができます。

工具には手動式、油圧式、空気式、足踏式、電気式、自動式等いろいろ用意してあります。





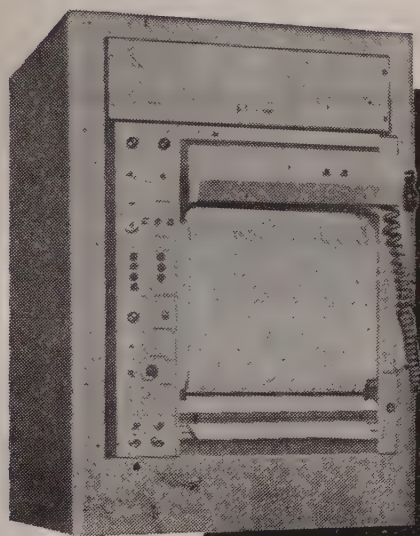
# CEC

## CONSOLIDATED

# RECORDING OSCILLOGRAPH

(オシログラフ)

TYPE 5-123

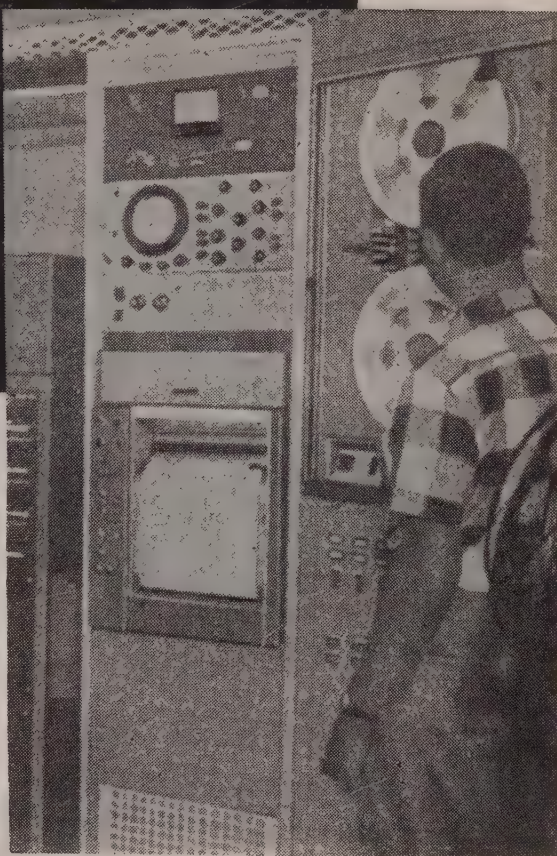


特にプリント・アウト記録を産み出すことの  
為に設計された画期的なオシログラフで、モ  
ジュラー設計、直接ラックに据付可能 最も  
新しい“Dataflash”技術の採用などをその  
主な特徴としている。

- 新しいモジュラー設計
- Dataflash”の採用
- 即時プリント・アウト記録
- 押ボタン式速度選択
- 完全な前面操作
- チャンネル数は最高 50
- 高感度ガルバノメーター使用  
(DC~5,000 サイクル)

その他各種のオシログラフがあります。

カタログ贈呈



Consolidated Electrodynamics Corp.

日本総代理店

## コロンビヤ貿易株式会社

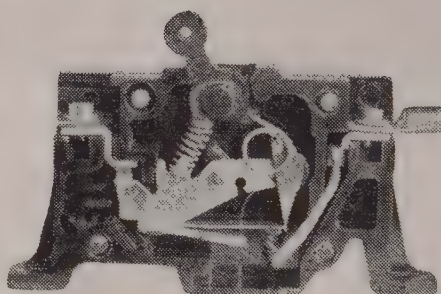
本社 東京都港区芝田村町1丁目5番地川手ビル TEL (591) 7206-8  
大阪出張所 大阪市北区宗道町44番地 TEL (44) 8067-8

# 漏電と酷使による災害の防止に ノーヒューズブレーカーを

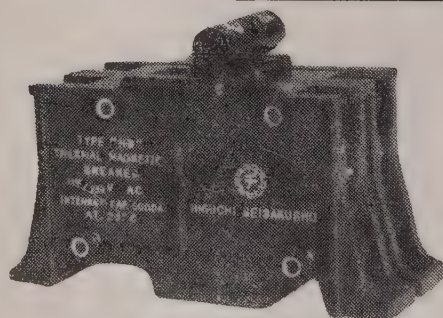
## HH 型 サーマルマグネチック ブレーカー

優れた設計と厳選された材料により  
動作の正確と永久の使用に耐えられ  
ます。

単 極  
125 V  
短絡電流 5,000 A



## HN 型 サーマルマグネチック ブレーカー



二 極  
同時トリップ  
125/250 V  
短絡電流 5,000 A

ノーヒューズブレーカー  
ユニットスイッチ  
セーフチースイッチ

高 低 圧 配 電 盤  
自 動 制 御 盤  
各 種 分 電 盤



### 株式会社 樋口製作所

東京都品川区平塚 2-614 電話荏原 (781) 4219・4229・8591



1/1000

ミリ単位の技術で…

# 力が強い！

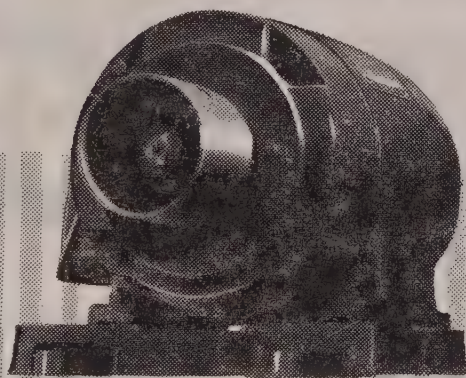
力がいのちのナショナルモートル。千分の一ミリ単位の精密な技術が要素所をガッチリおさえ、全合成樹脂絶縁方式という日本で初めての設計が加わって、性能のレベルをいちだんと高めました。

強い力・長い寿命・静かな回転・無振動・無注油……すべてが優れた技術の成果です。

こうして、家庭用から産業用まで日本でいちばん多くご愛用いただいている好評のモートルです。

カタログ進呈 大阪府守口局区内 松下電器 電機(事)宣伝係

モートル  
**ナショナル**  
松下電器



*Miniature bearings*

# STAINLESS STEEL



錆びない!  
ミネチュア

日本ミネチュアベアリング株式會社  
日本ミネチュアベアリング販売株式會社

東京都中央区日本橋兜町1の4

TEL (671) 1203~5番



# NMB



## ステンレス製 ベアリング

- 各種ステンレス製ミネベア
- フランジミネベア各種
- 各種シールドミネベア

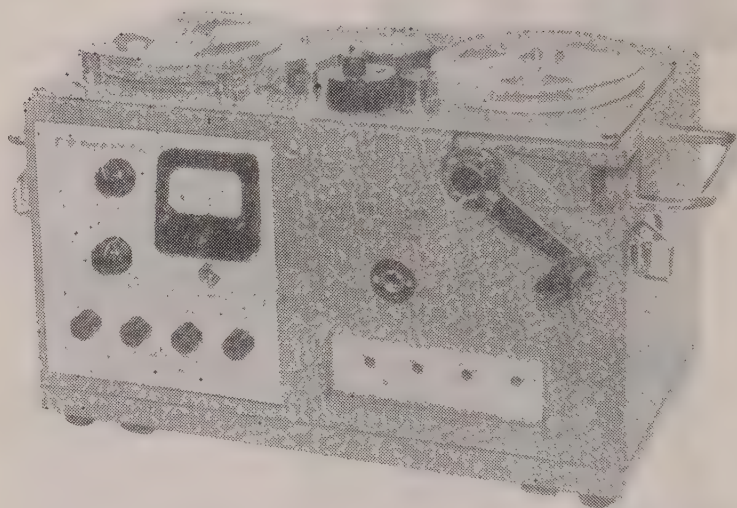
●エレクトロニクスの飛躍的発達とともに、工業技術の革新が叫ばれ、すでに、ロケットをはじめ電子計算機、自動制御装置、各種記録及び計器類から家庭用電気機械に至るまで、あらゆる精密機器は、丈夫で小型でしかも精度の高い信頼性のある部品が要求されてまいりました。

●こうした時代の要望に応えるべくNMB-ミネチュアベアリングは米国より最新の設備と技術を導入し、最高水準のNMB-ミネチュアベアリングの量産に成功しております。

●また、更にNMBの技術は「錆びないミネチュアベアリング」と「取付加工の容易な、NMBミネチュアフランジベアリング」及び「超小型の、ミネチュアシールドベアリング」など当社独自の新製品をつぎつぎに発表し注目をあびております。

(●参考資料進呈 誌名記入お申込下さい)。

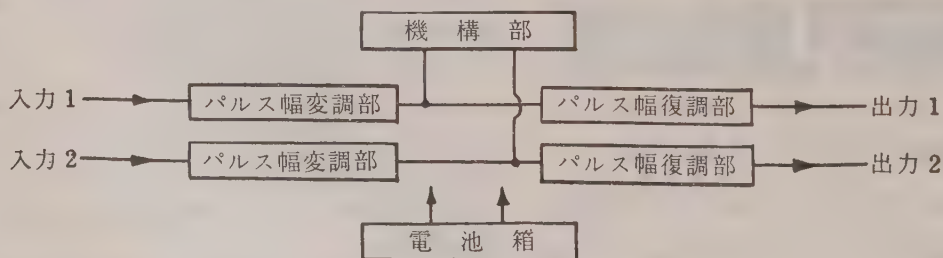
# SONY



## DATA RECORDER Model PPW-22

(携帯型計測用磁気記録再生機)

この装置は、ゼンマイ駆動による機構部とトランジスタ化されたパルス幅変・復調部を自蔵した小型軽量携帯型の計測用記録再生機です。車上、機上など極めてせまい場所 また電源のない所でのご使用に便利のように設計されています。電源は乾電池箱が別に付属しています。



### 性能

テープ速度	6ミリ幅 5号リール	出力	600 $\Omega$ 負荷時 $\pm 1$ V
チャンネル数	19 cm/s		(ピーク値) 不平衡
変調方式	2	周波数特性	0 ~ 100 c/s $\pm 1$ dB
復調方式	パルス幅変調方式	歪率	3%以下
入力	パルス幅復調方式	S/N比	1チャンネル当り 約40dB
入力インピーダンス	$\pm 1$ V (ピーク値)	電源	D.C 24V 乾電池 (平角3号)
	約5 K $\Omega$ 不平衡		

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 ~ 3 5 1 TEL (442) 5 1 1 1



# SONY

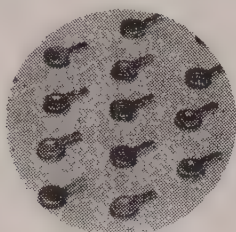
新発売

## Backward Diode 2種

- 温度影響の小さい  
エサキダイオード  
バイアス安定用

Backward Diode

1 T1401 : 1 T1402



Type	最大定格			規格						格		
	$I_B$ (mA)	$-I_B$ (mA)	$P_D$ (mW)	$I_B$ (mA: $V_B=180$ mV)			$-I_B$ ( $\mu$ A: $V_B=70$ mV)			$R_s$ ( $\Omega$ )	$C$ (PF) $V_B=250$ mV)	$L_s$ ( $\mu$ H)
1 T1401	80	70	40	min	mean	max	min	mean	max	1.5	150	0.4
1 T1402	80	70	40	9	12	16			100	1.5	150	0.4

## Esaki Diode 2品種発売開始

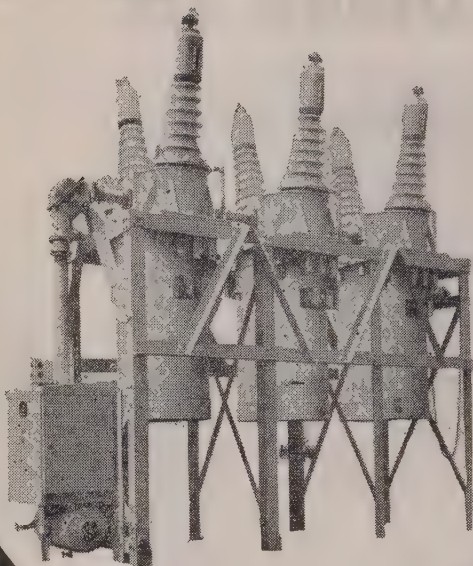
1 T1104 : 1 T1110

Type	最大定格			規格						格		
	$I_B$ (mA)	$-I_B$ (mA)	$P_D$ (mW)	$I_P$ (mA)			$I_P/I_V$		$R_s$ ( $\Omega$ )		$C$ (PF)	$-r$ ( $\Omega$ )
1 T1104	50	60	30	min	mean	max	min	mean	mean	max	15	25
1 T1110	40	50	25	1.7	2	2.3	4.5	7	0.8	1.5	12	70
1 T1101	40	50	25	1.95	2	2.05	7	8	1.5	2.0	6	60
1 T1102	40	50	25	1.95	2	2.05	4.5	5.5	1.5	2.0	6	70
1 T1103	40	50	25	1.7	2	2.3	4.5	4.5	1.5	2.0	6	70

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6-351 Tel (442) 5111

# 立正の油しゃ断器

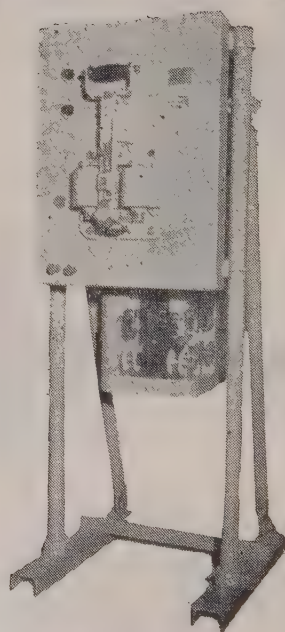


**D-2500形**

84KV. 800 1200A  
2500 MVA

**A-50C形**

7.2KV 300A  
50 MVA



株式会社 **立正電機製作所**

本社・工場 京都市南区吉祥院中島町四 TEL 京都 ③ 9176 (代表)

本社・営業部 大阪市北区万才町43(浪速ビル九階) TEL 大阪 ⑤ 9851・9951 (代表)

支 社 東京・大阪・営業所 大阪・東京・仙台・広島・九州・名古屋



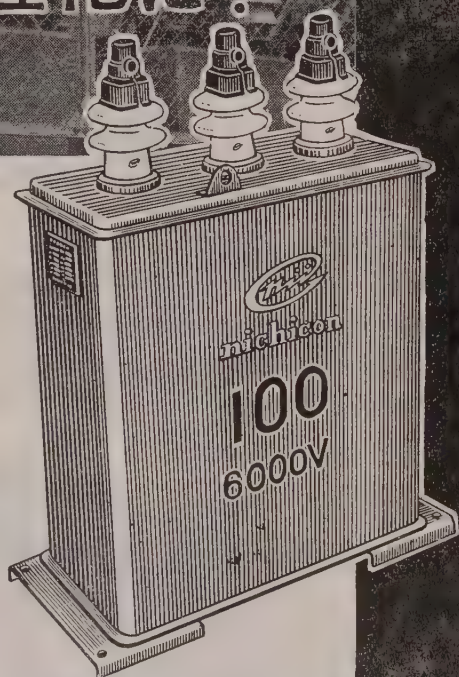


# 電力使用の合理化に！

(進相用特高圧コンデンサ)  
3φ 60% 33000V 2000kVA 群

## 製造品目

(O	F	式	・	D	F	式)
高	圧	進	相	用		
低	圧	進	相	用		
モ	一	タ	一	起	動	用
有	線	・	無	線	通	信
テ	レ	ビ	・	ラ	ジ	オ
雑	音	電	防	止	機	器
家	庭	電	気	機	器	装
直	流	高	圧	発	生	装
衝	撃	電	圧	発	生	装
衝	撃	大	電	流	発	生



## 日本コンデンサ工業株式会社 ニチコン販売株式会社

旧社名 株式会社 関西二井製作所・関西二井販売株式会社

本社 京都市中京区西洞院通四条上ル 電話(23)8461代  
営業所 東京・大阪・名古屋・福岡  
工場 草津・京都・亀岡・諏訪



新製品

*National*<sup>\*</sup>

## アカウント・レコーダー

■ 広くみなさまにご愛用いただける、新しい会計機が生まれました。小型ですが高性能、計算記帳事務を最も経済的に処理する必要最大限の機能を持っており、しかも低価格、これ一台で、いかなる掛売りや商品管理も完全です。

■ 66センチ巾の記帳面。関連帳票の同時記帳

■ 電動式タイプライター

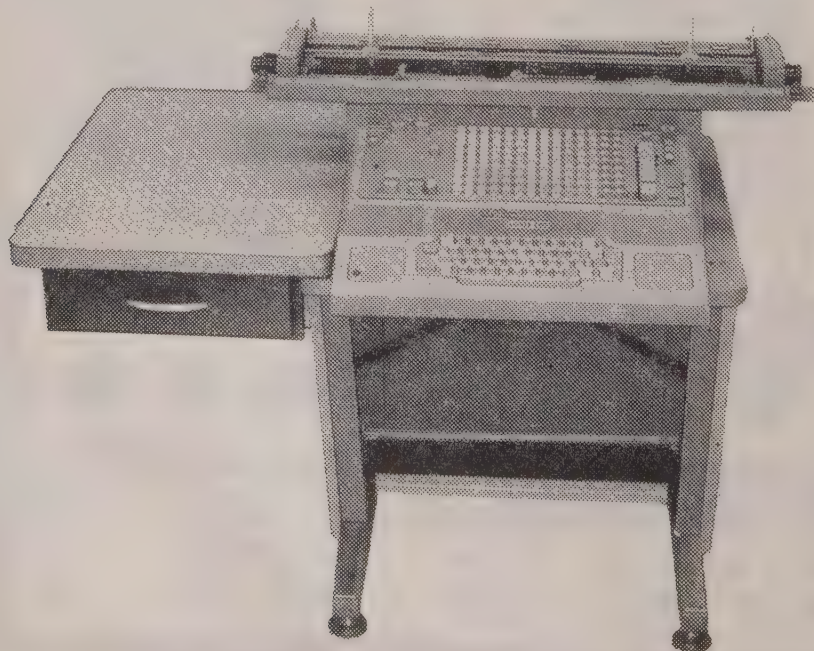
■ 交換自由、融通性のあるプログラム・パー



日本ナショナル金銭登録機株式会社

■ 会計機部/東京都港区赤坂留池1/TEL(481) 8371-7

\*登録商標





産業用エレクトロニクス

# 形TL無接点近接スイッチ

## 夢のスイッチ

オムロン形TL無接点近接スイッチは 金属が近づくだけで働く画期的なスイッチです。

### 特 長

1. 応動速度が速く 近接体には機械的 電氣的な影響はまったくありません
2. 開閉ひん繁度に関係なく 半永久的な寿命をもっています



# 形TK・TM無接点リレー

オムロン形TK・形TM無接点リレーはトランジスタ化したユニットで構成された静止リレーです 接点もなければ動く部分もないので 高い信頼度をもっています

各ユニットは接点をもつ従来のリレーの単体に対応するものでなく そのいくつかを組みあわせた制御ユニットに対応すると考えられています



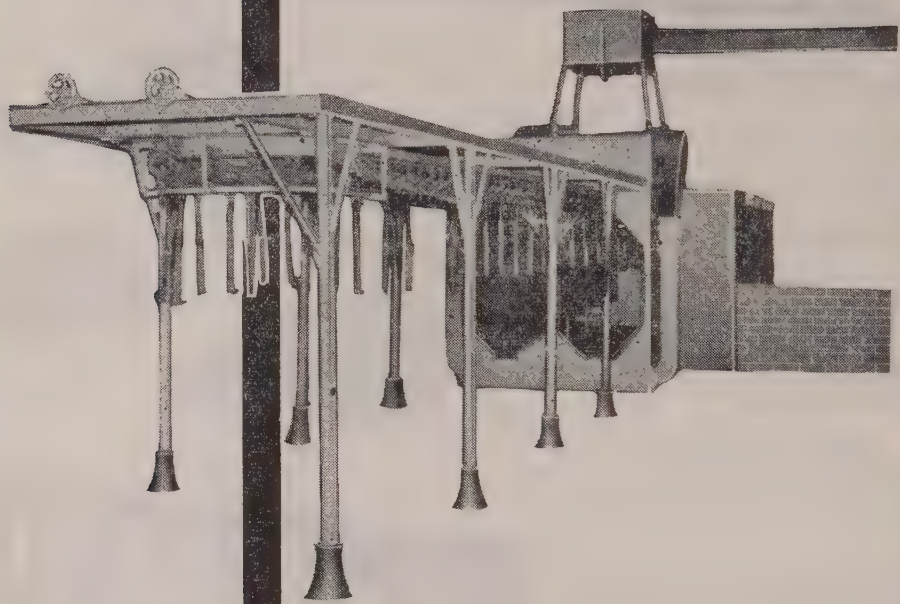
## 立石電機販売株式会社

大阪市北区堂島新大阪ビル 9階 電 (36) 8571  
 東京都大手町産経ビル別館 4階 電 (231) 5864  
 名古屋駅前トヨタ・ビル 9階 電 (55) 5437  
 日立・川崎・三島・京都・神戸・広島・福岡

**立石電機**

継電器・自動制御

# 熱風循環型乾燥炉



OSAKA

大和三光

創業大正6年

コンベヤー型  
ロータリー型  
ドラム型  
トンネル型  
フラッシュ型  
箱型  
真空型  
赤外線型

コンベヤー設備  
塗装設備  
赤外線設備  
自動制御設備  
送排風機  
各種ヒーター

## 用途

- 電気洗濯機、冷蔵庫、テレビケースなどの水切乾燥
- トランス、モーターなどのニス含浸乾燥
- 塗装後の焼付

## 特長

- 熱と風及び排気を十分に設計し炉内温度分布を $\pm 3^{\circ}\text{C}$ とできる
- 急速に炉内の空気を循環させることにより乾燥ムラを防止する
- テレビ用トランスから自動車まであらゆるものの処理ができる
- トロリーコンベヤー、ローラコンベヤー、台車などの装着により操作が連続的にできる。

株式会社 大和三光乾燥機製作所

大阪市福島区吉野町3丁目206番地  
TEL (46) 7161 (代) 7162・7163・7164



# 欧米の物理学界の動向をさぐる チェコスロバキア物理学会誌

チェコスロバキアの著名な科学者を編集スタッフとするチェコスロバキア科学アカデミー応用物理学会刊行

- 立体物理学、核物理学をふくむ物理学全般に関する研究論文を多数収録しています。
- 英、独、伊、露の四カ国語で理論物理学、実験物理学の両分野にわたる研究の未発表論文を掲載しています。
- また、読者の研究の一助とするため、新しい研究方法と最新実験用具の紹介を行ない、読者欄をもうけ、世界各国の物理学者の独創的な意見交換の場を提供しております。
- さらに、新発表の論文のほか、現在物理学界で注目されつつある問題に関する論争の紹介、その他世界各国で発行されている物理学研究論文の書評も掲載しています。
- 物理学および関連科学の研究者ばかりでなく、現在大学在学中の学生をも対象として編集されています。

## チェコスロバキア物理学会誌編集委員氏名一覧

V áclav Votrube

K. Míšek

J. Sternberk

J. Pačes

J. Bačkovsky

V. Petržžjka

J. Beneš

M. Rozsival

J. Garaj

L. Trlifaj

J. Kaczér

A. Vašíček

A. Kochanovská

L. Zachoval

V. Kunzl

A. Zátopek

本誌の年間購読料は \$ 19 . 40 であり、日本円にても購入できます。

購読御希望の方は下記にお問合わせ下さい。

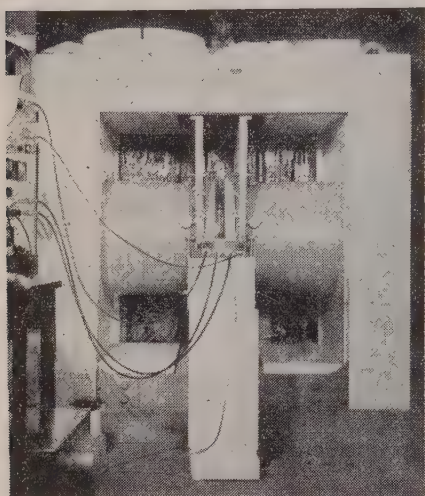
**ARTIA**

Smecky 30 praha Czechoslovakia



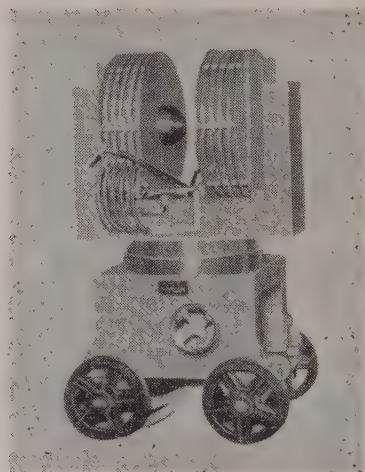
# 各種分析用磁場装置

## 永久磁石(MK磁石)式



特 性	
空 隙	40 m/m
磁 極 直 径	400 m/m
空隙磁束密度	10,000 gauss
均 一 度	10 <sup>-3</sup>
全 重 量	7,000 kgs

## 電 磁 石 式



特 性	
空 隙	35~50 m/m
磁 極 直 径	80 m/m
空隙磁束密度	20,000~15,000 gauss
均 一 度	10 <sup>-4</sup>
全 重 量	800 kgs

※スタビライザー（負荷の10%変化に対して電流安定度 $\pm 2 \times 10^{-4}$ ）附電源の用意もごさいます。

### 用 途

核磁気共鳴、磁気天秤  
 $\beta$ 線スペクトログラフ  
 質量分析、電子スピン共鳴  
 原子力機器制御  
 各種物理特性測定用  
 その他

### 納 入 先

東京大学物性研究所  
 日本原子力研究所  
 金沢大学、岡山大学、北海道大学  
 三菱電機株式会社  
 三菱原子力工業株式会社  
 その他



# 三菱鋼材株式会社

取締役会長 李家孝 取締役社長 南里辰次

本社、東京都千代田区大手町2の4 新大手町ビル 7階 電話東京(211)3271(代)





*Frequency Free*

# EØ-10 位相計

## 特 長

- A. 周波数に無関係、周波数範囲30～1,000%
- B. 歪波形でも測定出来る
- C. 電圧—電圧、電圧—電流、電流—電流、何れにも使える
- D. 測定範囲0—180°、電圧2—250V
- E. 292×175×205 (H) mm、約8.5kg



## 京濱電測器株式會社

東京営業所：港区芝金杉3の3 石橋ビル

Phone: 451-9666(交)8733~5(直)



## 工場ビルを近代的配線方式で！

# 日立バスダクト

最近ビルディング、工場等各種建築物の電力需要は年々増加の傾向にあり、従来の配線方式すなわちコンジット方式では、このような複雑化した配線を施行したり、将来電気設備の増減を要する場合の増設、移設には少なからぬ困難が伴います。

新しい配線方式として登場したバスダクトは、堅牢な金属製ダクト内に、不燃性絶縁物を介して導体（アスパー）を納めた構造で、屋内低圧（600V以下）、大容最（200～2,000A標準）の配線に使用することができる理想的な配線方式であるため、電設業界で大きく注目されております。

日立電線では、さきに北海製缶株式会社に納入布設したのをはじめ、各方面の御要望に応じております。

### 特長

- (1) 小は 200 A 以下の副幹線から大は数千アンペアにおよぶ主幹線まで使用可能であり、配線は著しく簡易化できる。
- (2) 電圧降下、電力損失が少ない。
- (3) 構造が単純であり、不燃性材料を使用しているため、火災等の危険が全くなく安全性が大きい。
- (4) コンパクトに製造できるので、スペース効率がよい。
- (5) ルートの選定、増設、分岐が自由にできる。
- (6) 構造が堅牢であり、美観を備えている。
- (7) 工事が容易にでき、工事費を節減できる。
- (8) ダクト内の点検、故障部分の修理が容易である。



## 日立電線株式会社

本社 東京都千代田区丸の内 2-16  
営業所 大阪・福岡・名古屋  
販売所 札幌・仙台・広島・富山



# 電 気 学 会 雑 誌

昭 和 36 年 10 月

第 81 卷 第 10 冊 第 877 号

## 本 号 の み ど こ ろ

浅野賞・電力賞・電気学術振興賞受賞候補者の推薦を求める、会費納入についてのお願い、37 年連大講演募集、英国電気学会雑誌特価頒布の予約募集、東京支部大会案内、ミリ波と赤外線専門講習会案内、第 2 回 IFAC 国際会議論文募集、その他 の会告がある。(会告 1~5)

**直流サーボモータの設計法** サーボモータの時定数を少なくするために、従来の設計法を一步進めて、歯の部分とコアの部分の磁束密度のバランスを保つことに着目して設計の合理化を図っており、設計例を示している。(1563 ページ)

**高圧ケーブル用絶縁紙の交流長時間破壊電圧特性とその微視的構造との関係** 絶縁紙の物理的性質と電気的特性とを関連づける一環として、電子顕微鏡を用いて微視的構造の究明を行ない、絶縁紙の微視的構造を主として電気特性との関係について述べている。(1572 ページ)

**直流機設計における比磁気および比電気装荷** 直流機の設計において、電機子に現われる基本周波数に対する比磁気装荷および比電気装荷の基本式を導き、Richter 氏や Liwshchitz 氏が与えた設計の標準曲線との比較を行っている。

(1579 ページ)

**直流機設計における出力方程式と設計法** 直流機の設計のための 3 種の形の出力方程式を提案し、それから電機子直径や電機子の理想的な長さなどを出す方法を述べ、さらにこの出力方程式を用いて設計を行う過程を説明するための形態図を示している。(1589 ページ)

**ゴムの誘電的性質におよぼす放射線の影響** 天然ゴム、人造ゴム、シリコンゴムなどに  $\gamma$  線を照射したときの誘電率および誘電損の変化を調べ、それを酸化とガス放出から説明しようとしている。(1599 ページ)

**電線表面上の水滴からのコロナ放電** 従来現象の説明にとどまった送電線表面に付着した水滴の変形現象を理論的に取り扱い、また水滴の表面変形、滴下に至る時間的経過とその先端より発生するコロナパルスの波形、発生ひん度などとの関連を、複レンズ流しカメラとシンクロスコープの併用により明確にしている。(1606 ページ)

**電気機器設計法(微増加比例法)における装荷分配問題の発展と基準電磁装荷の本質について** 装荷分配に関する微増加比例法について、基準電磁装荷と  $\gamma$  (分配定数) との関係論じ、装荷の分配は  $\gamma$  のみによるべきであることを述べ、さらに基準電磁装荷の本質について述べている。

(1616 ページ)

**エポキシ樹脂の耐トラッキング性** IEC トラッキング試験法によって無機物充てんエポキシ樹脂の劣化進展過程を観察し、炭化および侵食による減量、絶縁性低下などから、充てん剤の種類、配合の効果を検討し、あわせて IEC 試験法

に対する批判を加えている。(1625 ページ)

**拡散法による Si の接合生成と光電的諸特性** P 形 Si にりんを拡散し PN 接合を試作し、その光電特性を従来の N 形 Si に B を拡散させて作った PN 接合の特性と比較し、すぐれたものであることを見出した。また Si 中の酸素がドナーになることを利用し、P 形 Si に酸素を拡散し、PN 接合を試作して特性を調べている。(1633 ページ)

**電気ルミネセンスの経時変化** 電気ルミネセンス板の輝きが経時劣化により減少する機構は、発光点の減少によるものでなく、発光の原因となるところの Prebreakdown avalanche 発生電圧が上昇するためであることを明らかにしている。(1641 ページ)

**電気ルミネセンス層の電気的特性** 電気ルミネセンス層の誘電率、 $\tan \delta$  の周波数および温度依存性を調べ、また湿度や真空処理いかんによってこれらの性質が変化することを確かめている。(1647 ページ)

**貯水池計画を中心とした電力系統のシミュレーションについて** 発電所を新設する場合、その経済性の検討を計数形計算機で行い、さらに揚水発電所建設に際しその経済性および貯水池水位の変動ならびにポンプ流量などを計算している。(1651 ページ)

**高周波アークの再点弧と消弧の機構** 高周波用接点の開離時に生ずるアークは安定形と不安定形のあることは周知であるが、本論文は不安定形は陰極点が電圧の極性反転時に不連続的に跳躍することを確かめその機構につき論じ、また電極面の接触抵抗に着目して接点材料の良否につき検討している。(1660 ページ)

**最近のアメリカにおける火力発電用タービンの動向について** 4 月 13 日に行われた G.B. Warren 氏の講演要旨で、主としてアメリカにおける電力業界の発達について述べている。(講演 1670 ページ)

**誘導機に関する量記号(要旨)** 誘導機専門委員会でもめた誘導機に関する量記号の推奨案(報告 1679 ページ)

**工業用および医療用粒子加速装置(要旨)** 内外の粒子加速装置の性能や現状を、技術的なこととともに使用状況、建設費、維持費などにわたって紹介している。

(報告 1681 ページ)

**電気化学用変流装置調査報告(要旨)** 電気化学用変流装置の現状と発達の過程および今後の需要の伸びの見通しなどを述べ、整流器としてはシリコン整流器が、いずれの薬種に対しても有利なことを述べている。(1683 ページ)

**最近の増幅形電位計** 最近用いられている増幅形電位計として、電子管による電位計、振動容量形電位計、チョップパ変調増幅形電位計の回路方式、感度限界などを中心に概説し、電位計回路の半導体化の現況について述べている。

(技術綜説 1685 ページ)

## 目

## 次

## 資料・論文

直流サーボモータの設計法 .....	大木 創	1563 (1)
高圧ケーブル用絶縁紙の交流長時間破壊電圧特性とその微視的構造との関係 .....	下山田富保	1572 (10)
直流機設計における比磁気および比電気装荷 .....	岡 次雄	1579 (17)
直流機設計における出力方程式と設計法 .....	岡 次雄	1589 (27)
ゴムの誘電的性質におよぼす放射線の影響 .....	篠原 卯吉・稲垣 米一	1599 (37)
電線表面上の水滴からのコロナ放電 .....	佐藤 芳夫・角田 美弘・荒井 健次	1606 (44)
電気機器設計法(微増加比例法)における装荷分配問題の発展と基準電磁装荷の本質について .....	川田 輝明	1616 (54)
エポキシ樹脂の耐トラッキング性 .....	能登 文敏	1625 (63)
拡散法による Si の接合生成と光電的諸特性 .....	高橋 清	1633 (71)
電気ルミネッセンスの経時変化 .....	中村 孔治	1641 (79)
電気ルミネッセンス層の電気的特性 .....	中村 孔治	1647 (85)
貯水池計画を中心とした電力系統のシミュレーションについて (I. 開発計画の決定への応用) .....	三木 昭二	1651 (89)
高周波アークの再点弧と消弧の機構 .....	金 東海・中村 福三	1660 (98)

## 講演

最近のアメリカにおける火力発電用タービンの動向について .....	G. B. Warren	1670 (108)
-----------------------------------	--------------	------------

## 報告

誘導機に関する量記号(要旨) .....	誘導機専門委員会	1679 (117)
工業用および医療用粒子加速装置(要旨) .....	粒子加速装置専門委員会	1681 (119)
電気化学用変流装置調査報告(要旨) .....	電気化学用変流装置専門委員会	1683 (121)

## 技術 綜 説

最近の増幅形電位計 .....	内海 由春・永田 稷	1685 (123)
-----------------	------------	------------

学 界 時 報 .....		1693 (131)
---------------	--	------------

特 許 紹 介 .....		1723 (161)
---------------	--	------------

ニ ュ ー ス .....		1727 (165)
---------------	--	------------

本 会 記 事 .....		1732 (170)
---------------	--	------------

調査委員会記事 .....		1734 (172)
---------------	--	------------

求 人・求 職 .....		1605 (43)
---------------	--	-----------

正 誤 .....		1669 (107)
-----------	--	------------

告 白(浅野賞・電力賞・電気学術振興賞受賞候補者の推薦を求める, 会費納入についてのご願い, 37 年連大講演募集, 英国電気学会雑誌特価頒布の予約募集, 東京支部大会案内, ミリ波と赤外線専門講習会案内, 第 2 回 IFAC 国際会議論文募集, その他) .....		(会告 1~5)
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	----------

## 電 気 学 会 雑 誌 へ の 寄 稿 注 意

1. 寄稿者は原則として本会会員に限る。
2. 本会所定のも稿用紙に「電気学会雑誌寄稿のしおり」に基づいて執筆のこと。これらは申込み次第送付する。
3. 寄稿の種類
  - 3・1 資料・論文(長さは刷り上り10ページ以内, 英文要旨付)  
(雑誌1ページは本会原稿用紙で6枚)  
学術および技術に寄与する新しい研究成果
  - 3・2 誌上討論(長さは原則として刷り上り1ページ以内)  
本会誌に掲載された事項に関する討論およびそれに対する原著者の回答
  - 3・3 寄書(長さは原則として刷り上り2ページ以内)  
学術又は技術に関して, 会員一般の関心を促すための意見, 本会の事業および動向に対する批判, 意見等
- 3・4 会員の声(600字以内, 用紙随意)  
雑誌, 講演会その他本会の事業を改善するための建設的意見等を簡潔に執筆したもの。誌上匿名は差支ない。採否は編修理事が決定する。又要旨だけ掲載する場合もある。
4. 本会受付前に他の公開出版物にほぼ同じ位詳しく掲載されたものは原則として掲載しない。
5. 英文要旨 資料・論文に300~500語以内(図表を付けない)の英文要旨を付けること。これは海外向本会誌のみに掲載する。
6. 原稿の送付先 東京都千代田区有楽町1丁目3番地  
電気学会編修課
7. 別刷 50部までは無料で著者に贈呈。それ以上は有料。



東洋で初めての  
大型型鋼圧延機用電気機器  
(東京芝浦電気株式会社製)



東芝では八幡製鉄株式会社堺製鉄所に新設される大型型鋼圧延機(ワイドフランジビームミル)用電気品を製作納入した。この圧延機は東洋で初めて設置されるもので、全長約 750 m におよび、第 2 期工事完成後はフランジ間隔 1 m のワイドフランジビームが圧延できる大規模な設備である。第 1 期工事ではブレイクダウンミル、第 2 中間圧延機、仕上圧延機、熱鋸断機および精整設備が設置されるが、ブレイクダウンミル用主機関係電気品には八幡にあった設備が移設流用されるほかは、ローラテーブルの一部を除き、他のすべての電気品を東芝で製作納入した。

写真は第 2 中間圧延機用直流電動機  
5,200 kW-65/160 rpm-750 V (2 電動機形)

(表紙写真説明)

会 副 会 長	大宮館	西本内	定茂三	彦業郎
総務理事	阪本柳	本柳太	三捷健	房次郎
会計理事	青山三	柳好村	久太義	三太郎
編修理事	木岡柳	井部井	比久義	男古義
調査理事	上朽滝岡	之木村	親雄保	佐蔵夫
東京支部	長関石	四英紫	樹朗孝	道美雄
関西支部	長保古	橋刈賀	弘好栄	造喜
九州支部	長保古	田山井		
東海支部	長保古	深石加		
中国支部	長保古			
北海道支部	長保古			
北陸支部	長保古			
四国支部	長保古			

廣 告 目 次

愛知電機(後16)	三栄測器(前26)	大成化学機械(記中1682)	日幸電機(後2)	富士通信機(前44)
安藤電機(前19)	三社電機(前39)	大日電線(前11)	日新電機(前37)	富士電機(前4)
井上電機(前41)	佐藤金属工業(後7)	大和三光乾燥機(前60)	日測電子工業(前29)	藤倉電機(前13)
井伊東電機(後24)	済美電気(前34)	高岳製作所(前15)	日本閉閉器工業(後9)	古河電気工業(前12)
岩佐電気科学機(後22)	山洋電気(後13)	高砂製作所(後8)	日本抵抗器(後23)	マ
岩崎通信機(前4)	指月電機(後15)	立石電機(前59)	日本電気(前2)	松尾電機(後9)
在原製作所(後13)	芝浦電子(後20)	タケダ理研(前30, 31)	日本電気機材(後21)	松下電器産業(前51)
永進電気(後10)	島質貿易(前46)	中央製作所(前1)	日本電機精器(後4)	ミ
大泉製作所(後2)	島津製作所(後4)	中央電子(前33)	日本電源機器(前23)	三菱鉛筆(後25)
大倉電気(後19)	昭和電機(前10)	中央接点(後22)	日本電子測器(後24)	三菱鋼材(前62)
大阪変圧器(前40)	神鋼電機(前36)	中立電機(後20)	日本電線(前6)	三菱電機(表3)
沖電機(前7)	新光電機(後18)	戸上電機(表2, 前35)	日本電熱計器(後14)	港通信機(後6)
オリエンタルモーター(前43)	新興通信工業(後17)	東亜電波工業(前17)	日本電波(前18)	メ
桂川電機(後16)	新元元工業(前25)	東京芝浦電気(表1)	日本インクー(前45)	明電舎(アート1)
神岡金属工業(後3)	新日本電気G. E. C. (前38)	東京電気精機(前20)	ナショナル整流器(前57)	ヤ
菊水電波(後1)	鈴木電工(後11)	東京電器(後5)	日本コンデンサー(前58)	八島製作所(後6)
菊水電波・兼松(後1)	住友電気工業(前9)	東電舎(後21)	日本ナショナル金銭登録機(前58)	八幡製鉄(前21)
共和無線(後9)	スターライト工業(後12)	東洋計器(前42)	日本マイクロモーター(前27)	安川電機(前5)
京浜電測器(前63)	聖電工業(前47)	東洋端子(前48)	日本ミネチュアベアリング(前52, 53)	ヨ
コロナ電気(後3)	整電社(後7)	東洋通信機(前32)	西日本電線(前8)	横河電機(前14)
コロナモーター(前24)	精機工業所(後5, 25)	東洋電機(前16)	日立製作所(アート2)	ラビット(前61)
コンビヤ貿易(前49)	関商事(前22)	中里合名(後22)	日立電線(前64)	リ
	双信電機(後18)	長村電機(後15)	樋口製作所(前50)	理化電機研究所(前28)
	ソニ(前54, 55)	二井蓄電器(後14)	富士金属(後19)	理化電機工業(後12)
				立正電機(前56)
				リニアトランス研究所(後17)
				ワ
				渡辺電機(後11)



電 気 学 会

東京都千代田区有楽町一丁目三番地

電話和田倉(201) 0983 番 振替口座 東京 3168 番  
0984

# 浅野賞・電力賞・電気学術振興賞 受賞候補者の推薦を求める

標記各賞は、正員および事業維持員から推薦された候補者の中から選定されることは既に御承知の通りであります。ついては下記を御覧の上多数御推薦下さるよう期待致します。

なお、これらの各賞とも、2人以上の協力による業績または事項に対しては2人以上を1受賞者とする  
ことになっていますが、何れも個人を表彰する趣旨でありますから候補者は実質的な功績者とし、かつ  
擬賞事項は、その人がいなかったならば、できなかったような事項を主眼とし、たまたまその職に  
あったため受賞事項に関係したのにとどまるようなものは避けられるよう希望致します。

## 賞の種別・擬賞事項・贈与数

### 1. 浅野賞……………1名

(1) 電気学術またはこれに密接な関係がある  
学術に関し有益な発明、研究または著述をした者

(2) 電気工業または電気事業に関し、技術上  
の功績が顕著な者

### 2. 電力賞……………2名

(1) 電力の発生、送電、配電に関する事業に  
関し功績顕著な者

(2) 電力の発生、送電、配電に関し学術また  
は技術上の功績が顕著な者（受賞者の範囲には、  
電力の発生、送電、配電の機器に関するものはこ  
れを含むが、照明、電気鉄道、電気化学等の電力  
応用方面および電気通信関係は含まない）

### 3. 電気学術振興賞

### 進歩賞……………4名

電気に関する製品、設備等を新に完成し、また

賞金額 浅野賞…30,000 円×1名 電力賞…30,000 円×2名 電気学術振興賞…10,000 円×8名

推薦数 定数以内

推薦期限

昭和 36 年 11 月末日

推薦書記載事項 ※（関係規程一本書名簿 35 年版 169 ページ参照）

(1) 候補者の氏名

論文または文献に共著者がある場合は必ず記載すること。共著者を受賞候補者から除外しようとする  
場合は、その理由を明記すること。

(2) 職業または勤務先における役職名

(3) 賞の種別

(4) 賞を受けようとする主要事項 i) 主要項目, ii) 協力事項の区分（2人以上の協力者を推薦  
する場合は、必ずその分担事項を明記すること）、 iii) 擬賞事項に対する国内および海外における状  
況、 iv) 論文および文献の発表または発行年月、発行所

(5) 前項に対する業績の概要および推薦意見 なるべく 300 字以上 500 字以内とし、専門の同  
じでない人にもわかるように記載すること。2人以上の協力による業績については、協力事情  
を具体的に記載すること。

(6) 推薦者の住所、氏名

※“推薦書記載事項が著しく所定の事項と合わないため審査上支障を来たと認められたもの”は  
審査から除外されることとなっておりますから、御注意下さい。

○既受賞者名は、昭和 35 年以前分一本書名簿（35 年版）159 ページ、36 年分一本書誌 36 年 6  
月号 1,037 ページにあります。

は改良し、あるいはこれらに関する方式等を考案  
し、顕著な効果を示したものに対して贈与する。  
ただしその年からおおむね 3 年以内に実地製作ま  
たは施工を完了し、その結果が明確となったもの  
に限る。

### 論文賞……………3名

優秀な論文の著者に贈与する。この論文はその  
年からおおむね 3 年以内に電気学会雑誌に発表さ  
れたもので、かつ原則として 1 著者については 1  
論文を対象とする。ただし電気学会会員が電気学  
会雑誌以外に発表した論文、資料、報告などで優  
秀なものがあれば 1 件に限り選定することができ  
る。

### 文献賞……………1名

優秀な著書の著者に贈与する。この著書はその  
年からおおむね 3 年以内に刊行されたものとし、  
資料、報告および単に諸事項を集録したものは含  
まないものとする。



## 会費納入についてのお願い

本年度下半期分会費納入の時期となりました。9月から10月にかけて、納入用振替用紙をお手もとにお送りしております。

本会の会費は、1カ年または6カ月分を前納願うことになっており、本会はそれによって、雑誌の発行をはじめ諸般の事業を行う次第であります。

事情ご賢察の上、お忘れなくお払い込み下さい。

## 電 気 学 会

### 昭和 37 年電気四学会連合大会講演募集（再告）

標記大会は、昭和 37 年 4 月 3 日から東京において開催することとなり、講演募集をいたしております。詳細は、9 月号会告を御参照下さい。

講演申込および原稿提出期限 12 月 11 日（月）午後 5 時

### 英国電気学会雑誌特価頒布の予約募集

英国電気学会雑誌 1962 年分の特価頒布の申込を致しますから、希望者は下記承知の上本会宛に御申込み下さい。

1. 申込者は本会正員に限る。（学校、会社等の費用で購入される場合でも、申込は正員名のこと）
2. 申込部数は同一種類につき 1 部宛に限る。
3. 希望誌名、申込者氏名、送本先（氏名と送本先はローマ字併記のこと）を明記し、下記概算金額を添え本会宛申込むこと。

（1）先方からは申込者個々に直接郵送されるから、日本の郵便局で誤訳されないよう送本先はローマ字とすること。

（2）振替送金は東京 3168 番、電気学会宛のこと。

（3）官庁、学校等で現品が納入されてからでないと支払が出来ない向に対しては、本会で立替払いをするから支払予定月日を附記して申込むこと。

（4）代金に過不足が生じた場合は返金又は追加請求する。

#### 4. 申込締切 10 月末日

5. 本会は申込を取りまとめた上所要外貨の枠を申請し、その許可を得た上申込むこととなるので、或は申込者全部の希望にそえない場合もあると思うので、予め御了承願います。

Puplications	定 価	割引値段（概算）
Science Abstracts		
Section A (Physics)	£ 20.	£15. 0. 0. (15,400 円)
Section B (Electrical Engineering)	£ 14.	£10. 10. 0. (10,800 円)
Section A and B	£ 32.	£24. 0. 0. (24,600 円)
Journal of the Institution	£ 2.	£ 1. 10. 0. (1,550 円)
Proceedings		
Part A (Power Engineering)	£ 3. 3. 0.	£ 1. 17. 6. (1,950 円)
Part B (Radio and Electronics)	£ 3. 3. 0.	£ 1. 17. 6. (1,950 円)
Part C (Monographs)	£ 1. 10. 0	18. 9. (1,000 円)
Journal and Proceedings Part A, B, C		£ 6. 0. 0. (6,150 円)

## 電 気 学 会

## 第2回 IFAC 国際会議論文募集

IFAC 主催第2回国際自動制御会議は 1963 年 9 月 スイス の Basle で開催されますが、日本学術会議自動制御研究連絡委員会ではこの会議への提出論文を下記の要領で募集しております。

記

提出期限 1962 年 6 月 1 日

送付先 東京都台東区上野公園

日本学術会議自動制御研究連絡委員会

### 募集論文の種類

1. 自動制御理論
  - (1) Discrete Systems
  - (2) Stochastic Systems
  - (3) Optimal Systems
  - (4) Learning Systems
  - (5) Systems Reliability
2. 自動制御の応用
  - (1) Process Dynamics
  - (2) Computer Studies of Application on or off line
  - (3) Optimizing or Adaptive Control Applications
3. 自動制御要素
  - (1) New and effective devices
  - (2) Measurement of the reliability of components

### 提出論文の体裁及び部数

1. 英語又は独、仏、露語のいずれかで、図表、写真及びアブストラクトを含めて 30,000 字（文字及びスペース）以内。  
これは普通のタイプライタ用紙（1行 60 字、25 行）20 枚に当る。用紙の片面にダブルスペースでタイプし、周囲に 3cm の余白を残すこと。
2. 英語または露語（できれば両方）で 200 語以内の アブストラクト をつけ、その日本語訳を添付する。アブストラクトには図表を入れないこと。
3. 数式はなるべく無次元で記述するか、メートル法を使用のこと。
4. 論文の種類を指定して 4 部提出すること。

**提出論文の選考** 論文選考委員会（国内及び国際）によって選考されますが、第2回の国際会議では理論及び応用の論文を主とし、それに要素関係の論文数件を加えて総数 100 件（参加国 26）以内の論文が採択されるはずです。

**その他** 本人が会議に出席できることを前提とし、原則として代読は考慮されておられません。

なお、IFAC では、論文募集についてのパンフレットを用意しておりますので、送付御希望の方は上記自動制御研究連絡委員会に御申し込み下さい。

## 電 気 工 学 年 報 昭 和 3 6 年 版

予 約 募 集

予 約 締 切 日 を 1 0 月 3 1 日 ま で 延 期

( 発 行 1 1 月 中 旬 )



UDC 621.313.2.001.2-9:621-526

## 直 流 サ ー ボ モ ー タ の 設 計 法\*

資料・論文

36-117

正 員 大 木 創†

## 1. ま え が き

近年の自動制御装置の進歩に伴って操作部の駆動源であるサーボモータに要求される条件もますます過酷となってきた。筆者らは約 10 年ほど前からサーボモータの試作依頼を受けて種々製作を試み、数多くの失敗を重ねた。特に直流サーボモータは文献も設計資料も乏しく従来の小形直流機の資料に基づき暗中摸索的 Cut and Try に終始し、なにか根本的設計法の確立を痛感しあえて本設計法を提案する次第<sup>(1)~(3)</sup>である。

サーボモータは通常の電動機としての条件のほか、速応性という重要な条件がある。そして自動制御系の設計において試みられるようにサーボモータを一次要素とみなして、この機械系の時定数を設計条件として追加する。<sup>(4)</sup> そうしてサーボモータの設計法とはこの時定数をできるだけ小さくすることである。

このように考えると回転部の慣性モーメントは小さく、発生トルクは大きいことが望ましい。このためには回転部にむだなスペースがあってはならない。磁束、電流などの分布も限界値を知りつつ、しかも要求に応じ任意の値を選定することができて、しかも全体的に均衡がとれている必要がある。ゆえに従来の統計的に求めた設計定数やあるいは出力方程式で論ぜられるように、ギャップにおける直径と鉄心積厚で機械寸法をうんぬんすることでは不充分と思われる。さらに一步機械内部にふみ込んで種々検討を行う必要があると思われる。そこでスロットの幅とスロットピッチの比  $\gamma$  を Slot factor と称し、またスロットの深さと電機子直径の比  $\beta$  を Slot depth 係数とし、歯の部分の磁束がすべてコアの部分を通ることより  $\gamma$  に適応した  $\beta$  を定めたもので、歯の部分とコアの部分の磁束密度が平衡が保たれていることにまず着目している。また一般に比磁気装荷としてギャップ磁束密度をとっているが、歯の磁束密度  $B_{tm}$  のほうが電気鉄板の飽和限度などの上限値があり、限界をきわめつつ設計を行うサーボモータにはより適当と思い後者を採用した。さら

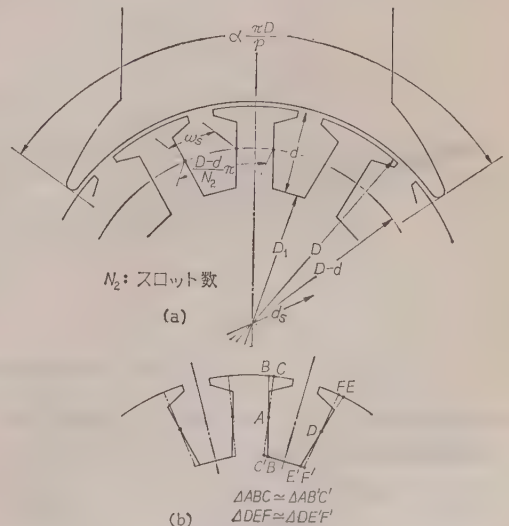
に比電気装荷としてはアンペアコンダクタ/センチメートルの代わりに  $\gamma$  によってスロット全面積が表示されるので、スロット内の導体占有率  $f_o$  と電流密度  $\sigma_a$  の積で表示した。

このようにして、まず慣性モーメントを  $\gamma, \beta, f_o, D/L$  で表示し、さらに時定数係数、出力方程式係数などもすべて  $\gamma, \beta, f_o, \sigma_a, B_{tm}$  などで表示し、係数相互関係を明らかにするように努めた。サーボモータのように特殊性の多い機械においては各係数の影響のぐあいを熟知することが必要であり、あらかじめ種々の  $\gamma$  に対する慣性モーメント係数、時定数係数などを図表化しておけば、実際の設計にはきわめて便利である。今回は紙面のつごうより一例にとどめた。

このように回転子を基準とした設計であるから、サーボモータという共通の特殊性に立脚すれば直流も交流も全く同様な手法で設計<sup>(3)</sup>を進めることができる。しかし紙面のつごうにより直流サーボモータに限り記述をする。

2. Slot factor  $\gamma$  と Slot depth 係数  $\beta$ 

小形回転機のスロットの形状は第 1 図 (a) のような場合が多い。これを (b) 図のように近似してスロットの面積などを算定する半閉スロットによる誤差はスロ



第 1 図 直流機の磁路寸法

\* Design of Direct Current Servomotor. By H. OHKI, Member (Sanyo Electric Co., Ltd., Designing Division).

† 山洋電気株式会社東京工場設計課

ット内導体占有率の値で補正する。いま電機子直径を  $D$ 、積厚を  $L$ 、スロット数を  $N_s$ 、軸径を  $d_s$ 、スロットの深さ  $d$ 、スロットの中央部の幅を  $\omega_s$  とし、Slot factor  $\gamma$ 、Slot depth 係数  $\beta$ 、軸係数  $\nu$  を次のように置く。

$$\gamma = \omega_s / \frac{(D-d)\pi}{N_s}, \quad \beta = \frac{d}{D}, \quad \nu = \frac{d_s}{D}$$

また歯およびコア部の最大磁束密度を  $B_{tm}$ 、 $B_{cm}$  とし、さらに極数  $p$ 、極弧比  $\alpha$ 、積層係数  $k_l$ 、極あたり全磁束を  $\Phi$  とすれば

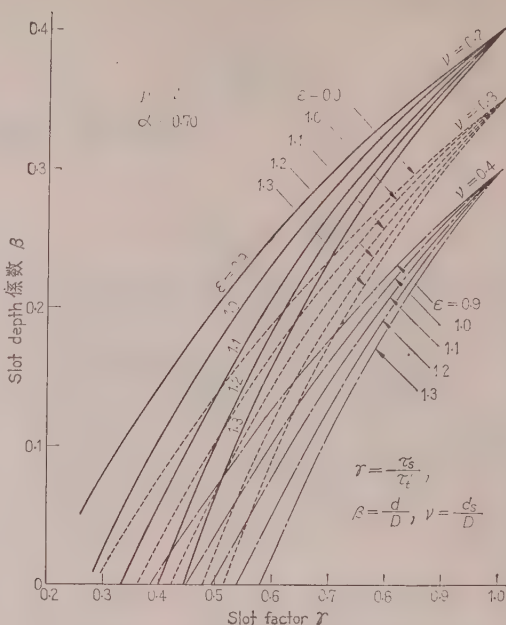
$$B_{cm} = \frac{\Phi}{DL k_l (1-2\beta-\nu)}$$

$$B_{tm} = \frac{p\Phi}{\alpha\pi DL k_l (1-\gamma)(1-\beta)}$$

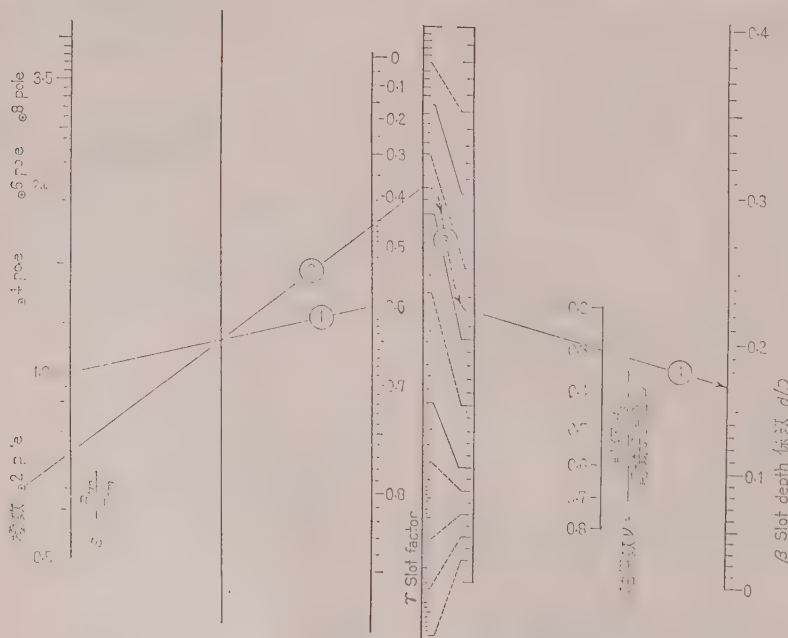
また、 $\varepsilon = B_{tm}/B_{cm}$  と置けば、次の関係を得る。

$$\beta = \frac{p(1-\nu) - \pi\alpha\varepsilon(1-\gamma)}{2p - \pi\alpha\varepsilon(1-\gamma)} \dots\dots\dots (1)$$

$\varepsilon$  を適当に選定することにより歯とコアの磁束密度の均衡がとれた電機子が得られる。第2図は2極機の  $\gamma$  と  $\beta$  の関係である。ノモグラムで表示すると第3図



第2図 Slot factor  $\gamma$  と Slot depth 係数  $\beta$  の関係



第3図 Slot depth 係数  $\beta$  の決定用ノモグラフ

のようになる。平行スロットの場合  $\gamma$ 、 $B_{tm}$  として歯本の値をとれば全く同様に

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{p(1-\nu) - \pi\alpha\varepsilon(1-\gamma)}{p - \pi\alpha\varepsilon(1-\gamma)} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

### 3. 慣性モーメントの算定

サーボモータにおいて回転部の慣性モーメントは重要で種々論ぜられている。慣性モーメントを  $J_0$  とすれば



$$J_0 = (\pi/32) K_j D^4 L \quad \dots\dots\dots (3)$$

とし、 $K_j$  は  $D/L$  の関数として表示している<sup>(4)</sup> が種々実測の結果、 $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ ,  $\varepsilon$ ,  $D/L$  などの関数として表示する必要がある。第1図において電機子を三つの部分に分けて慣性モーメントを求める。すなわち  $J_1$  はスロットの底まで、軸とコアの部分で鉄だけである。 $J_2$  は歯の部分、 $J_3$  は導体の部分でスロットの内部とさらにコイルエンドの部分も考慮し、この部分の長さは極節の1.6倍と見込んだ。コイル押え金具、整流子、さらに場合によっては冷却用扇などもあり若干長すぎる感があるが、この程度に見込むほうが実際とよく一致する。各部の慣性モーメントを計算すると

$$\left. \begin{aligned} J_1 &= (\pi/32) \rho_f k_l D_1^4 L \\ &= (\pi/32) \rho_f k_l (1-2\beta)^4 D^4 L \\ J_2 &= (\pi/32) \rho_f k_l (1-\gamma) (D^4 - D_1^4) L \\ &= (\pi/32) \rho_f k_l (1-\gamma) \{1 - (1-2\beta)^4\} D^4 L \\ J_3 &= (\pi/32) \rho_o f_o \gamma \{1 - (1-2\beta)^4\} \\ &\quad \times \left\{1 + 1.6 \frac{\pi}{p} \frac{D}{L}\right\} D^4 L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $\rho_f$ ,  $\rho_o$ : 鉄および銅の密度

電機子の全慣性モーメント  $J_0$  は次式のようにになる。

$$\begin{aligned} J_0 &= (\pi/32) \rho_f k_l \left\{ (1-\gamma) + \gamma (1-2\beta)^4 \right. \\ &\quad \left. + \frac{\rho_o}{\rho_f} \frac{f_o}{k_l} \gamma \{1 - (1-2\beta)^4\} \left\{1 + \frac{5.03}{p} \frac{D}{L}\right\} \right\} D^4 L \\ &\dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

あるいは実際の数値を代入し慣性モーメント係数として

$$K_j = 1 - \gamma \{1 - (1-2\beta)^4\}$$

$$\times \left[ (1-1.14 f_o) - \frac{5.73}{p} f_o \frac{D}{L} \right] \dots\dots\dots (6)$$

を得る。ある  $\gamma$  の値につき  $K_j$  と  $D/L$  の関係を求めると、 $f_o$  が一定のとき  $(1-1.14 f_o) p / 5.73 f_o$  の1点と、 $\beta$  が一定のとき  $-0.199 p$ ,  $1 - \gamma \{1 - (1-2\beta)^4\}$  の2点を通る直線となり、 $f_o$ ,  $\beta$  (または  $\varepsilon$ ) パラメータの  $K_j$ ,  $D/L$  のグラフを算定することはすこぶる簡単である。第4図は二極機の場合で  $\gamma=0.6$ ,  $\nu=0.4$  の一例を示したものである。

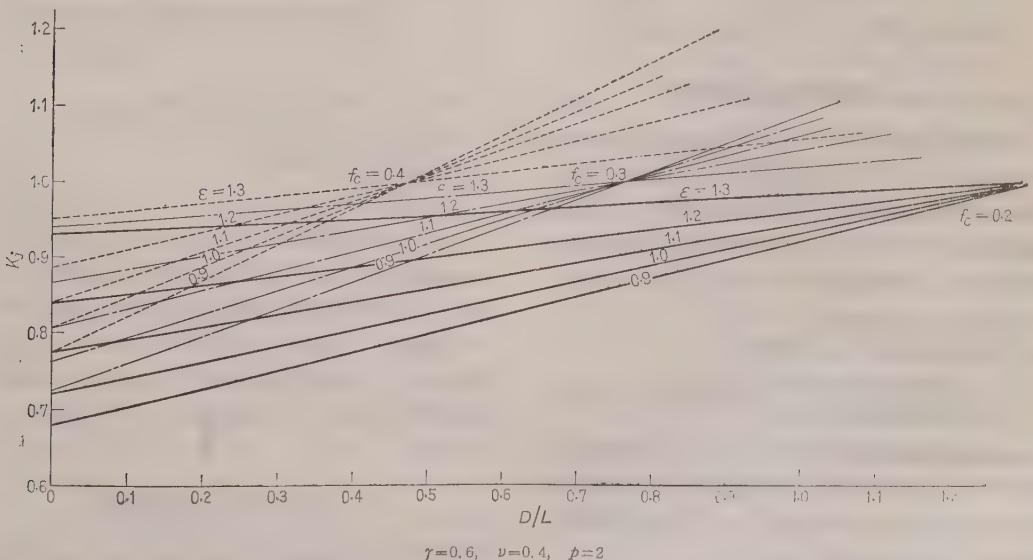
慣性モーメントは厳密には軸、整流子なども考慮すべきであるが、整流子は一般に長さも短く直径も小さく、ほとんど問題ではなく無視することができる。むしろ負荷との継手などに不用意に過大な直径のものを使用し、ばかにならない慣性モーメントとなる場合がある。

#### 4. 慣性モーメントの実測と簡略係数

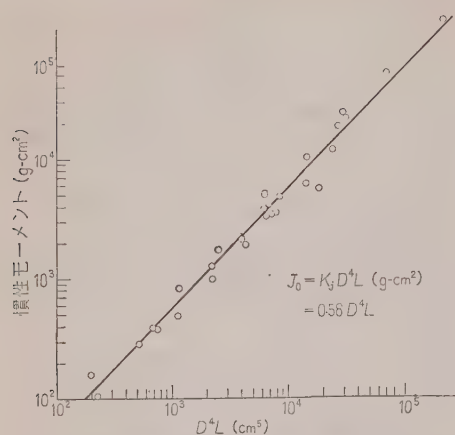
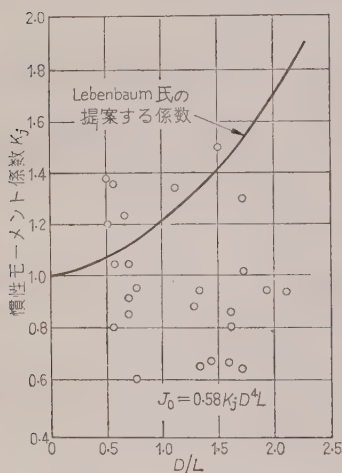
慣性モーメントの実測には種々あるが、<sup>(5)</sup> 比較的簡単で正確なものとして2本つり<sup>(6)</sup> で測定した。これを第5図のように表わし簡略係数とし次式を得る。

$$J_0 = 0.58 D^4 L \dots\dots\dots (7)$$

また Lebenbaum 氏<sup>(5)</sup> は  $D/L$  の関数として慣性モーメント係数を第6図実線のように提案しているが、実測結果は大きく相違する。これはただ  $D/L$  だけでなく前章のように  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $f_o$  などの関数で詳細に表示すべきであるが、概略計算を行う場合にはむしろ (7) 式のように簡単に表示したほうが得策である。



第4図 慣性モーメント係数  $K_j$  と  $D/L$  の関係

第5図 慣性モーメントと  $D^4 L$  との関係第6図 慣性モーメント係数と  $D/L$  の関係

### 5. 設計的にみた時定数

まえがきにおいて述べたように機械的時定数が重要となり、しかもこの値も制御法や形式によってすべて異なり一律に定めにくいが、付録に説明したように定格電圧をステップ状に印加した場合の機械的時定数を取ればよく、この値を  $t_0$  とすれば次式のようになる。

$$t_0 = \frac{(\text{回転部の慣性モーメント})}{(\text{定格状態のトルク係数})} \times \frac{(\text{電機子回路の抵抗})}{(\text{定格状態の速度係数})} \times (\text{補正係数}) \dots (8)$$

さらに補正係数は付録に示すように形式、制御方式で適宜定めればよい。しかし時定数の基本項は設計的には定格状態においては同一であり、定励磁他励形を基準として設計をすればよい。

また高速応性のものや、駆動電源としてサイラトロ

ンや磁気増幅器が使用される場合には、もちろん電気的時定数が問題となるが、本設計においては機械的時定数に比べてこれを無視して設計を進め、設計定数に基づいて整流条件と同様に検討を試みることにする。しかし現在の高速応性のものにおいては両者はほぼ同じ程度にまで接近してきたので、簡単に無視できなくなってきた。

いま極あたりの全磁束を  $\Phi$ 、全導体数を  $Z$ 、電機子回路数を  $a$ 、電機子抵抗を  $R_a$ 、スロットの全面積を  $A_s$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} \text{速度係数} &= \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} Z \Phi \times 10^{-8} \text{ V/rad/s} \\ \text{トルク係数} &= \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} Z \Phi \times 10^{-1} \text{ dyne-cm/A} \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

$$R_a = 2.1 \times 10^{-6} \frac{(ML)Z}{a^2 A_s f_c / Z} \dots (10)$$

ただし、 $ML = \left\{ 1 + 1.6 \frac{\pi D}{p L} \right\} L$  導体平均長さ

$$A_s = \pi \gamma \beta (1 - \beta) D^2$$

$$p\Phi = \pi \alpha k_l (1 - \gamma) (1 - \beta) D L B_{tm}$$

であるから、時定数はこれらの関係より

$$t_0 = 2.05 \times 10^3 \frac{\left\{ 1 + \frac{5.03 D}{p L} \right\} (1 + c) K_j}{k_l^2 \alpha^2 f_c \gamma \beta (1 - \gamma)^2 (1 - \beta)^3 B_{tm}^2} \dots (11)$$

いま  $\alpha = 0.7$ 、 $k_l = 0.95$  とし  $K_j$  の関係も代入すれば

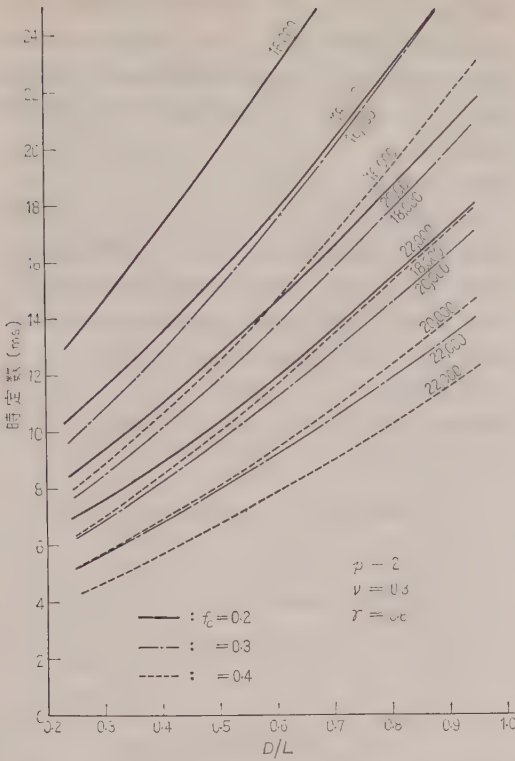
$$t_0 = 4.63 \times 10^3 \times \frac{\left\{ 1 - \{ 1 - (1 - 2\beta)^4 \} \right\} \left\{ (1 - 1.14 f_c) \right\}}{f_c \gamma \beta (1 - \gamma)^2} \times \frac{\left\{ 1 - \frac{5.73}{p} f_c \frac{D}{L} \right\} \left\{ 1 + \frac{5.03 D}{p L} \right\} (1 + c)}{(1 - \beta)^3 (B_{tm})^2} \dots (12)$$

となる。 $f_c$ 、 $B_{tm}$  をパラメータとし  $D/L$  の関数として時定数を求めると、第7図のような曲線群を得る。また  $\gamma$  に対する時定数係数を求めると第8図に示すように最適な  $\gamma$  の値がある。これらはいずれも二極機で特定の  $\gamma$  と  $\beta$  の値に対する一例であるが、あらかじめ種々の場合を算定し、設計に便利のように準備すべきである。

### 6. 出力方程式と装荷分配

電気機械の設計においては出力方程式がしばしば論じられるので、これを検討してみよう。出力  $P_0$  は



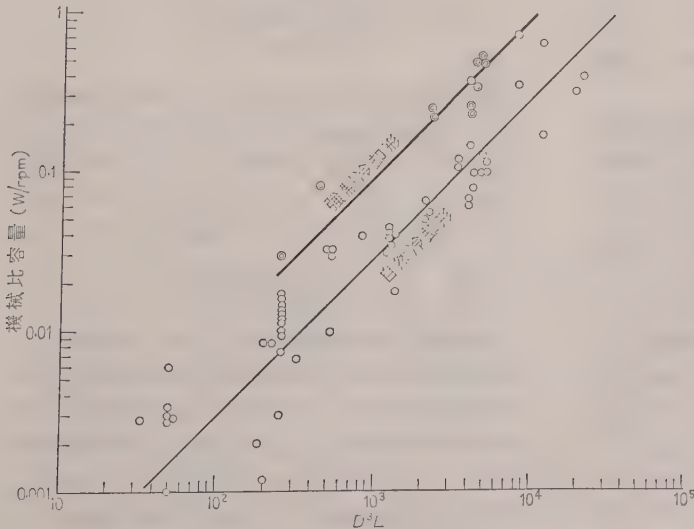


第 7 図 時定数と  $D/L$  の関係

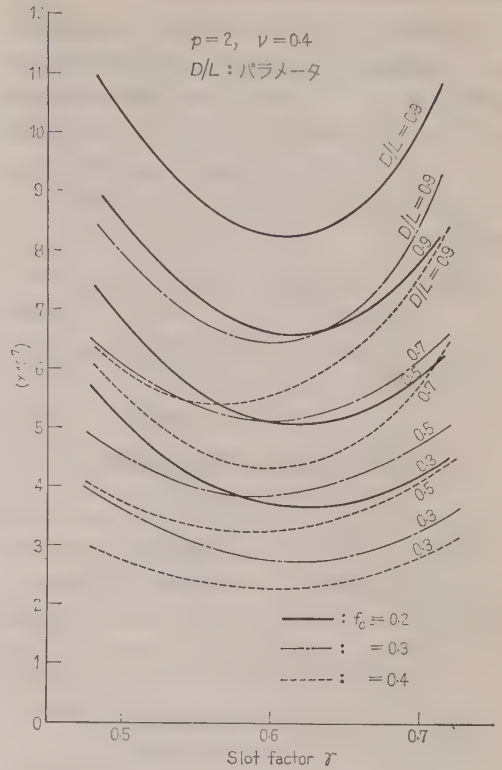
$$P_0 = \left[ \frac{p}{a} Z \Phi n \right] I_a \times 10^{-8} \text{ W}$$

$$\frac{1}{a} I_a Z = \pi \sigma_a f_c \gamma \beta (1 - \beta) D^2$$

ただし、 $\sigma_a$ ：電機子導体の電流密度 (A/cm<sup>2</sup>)  
であるから出力方程式としては次式を得る。



第 9 図 機械比容量と  $D^3L$  の関係



第 8 図 時定数と  $\gamma$  の関係

$$\frac{P_0}{n} = \pi^2 \alpha k_i \gamma \beta (1 - \gamma) (1 - \beta)^2 f_c \sigma_a B_{tm} D^3 L \times 10^{-8} \quad (13)$$

また電気装荷と磁気装荷の比を求めると次式を得る。

$$\frac{I_a Z / a}{b \Phi} = \frac{\gamma \beta f_c}{\alpha (1 - \gamma) k_i B_{tm} L} \frac{\sigma_a D}{L} \quad (14)$$

$D/L$  の比はサーボモータにおいては時定数の条件によってある程度定まり、この比を定める要素は  $\sigma_a$ ,  $B_{tm}$  のほかに  $\gamma$  がきいてくる。

このように比電気装荷は電機子周辺におけるアンペアコンダクタ / センチメートルだけでなく  $\beta D$  の関数と考えることである。また比磁気装荷として従来はギャップの磁束密度を採用するが小形機においてはギャップ磁束が歯に集中する度合いが大きいので、歯の磁束密度を採用するほうがよりつごうがよい。

以上のような論旨より出力方程式の係数を  $\gamma$ ,  $\beta$  の関数として表示し、この選定により係数がいかなる

変化をなすかを熟知することであろう。

機械比容量と  $D^3L$  の関係を統計的にみると第9図のように示される。元来サーボモータは用途により種々の特殊性があり、かつ便宜的に同一鉄心で無理な設計を行ったために幅の広い分布をしているが、中央値としてはおおむね  $D^3L$  に比例しているとみなすことができよう。これより統計的にみた出力方程式としては次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \text{自然冷却} \quad \frac{P_o}{n} &= 2.95 \times 10^{-5} D^3 L \text{ (W/rpm)} \\ \text{強制冷却} \quad \frac{P_o}{n} &= 9.5 \times 10^{-5} D^3 L \text{ (W/rpm)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

## 7. 平均リアクタンス電圧と電機子回路のインダクタンス

電流密度、占有率を高くとれば整流条件も悪くなるので直流機と同様平均リアクタンス電圧を計算する。Pichdmayer 氏の計算略式を用いると次のようになる。

$$E_r = L \frac{Z}{N_s} v \zeta \left( \frac{Z I_a}{a} \right) \frac{1}{\pi D} \times 10^{-8} \text{ V} \dots\dots\dots (16)$$

ただし、 $v$ ：電機子周辺速度  $= \pi D n_s \times 10^{-2}$  m/s,  $N_s$ ：セグメント枚数,  $\zeta$ ：係数

いま誘起電圧は端子電圧に相等しいとみなして

$$Z = \frac{a E_t \times 10^8}{\pi \alpha k_i (1-\gamma) (1-\beta) B_{tm} D L n_s}$$

より

$$\begin{aligned} E_r &= \left\{ \frac{\gamma \beta}{1-\gamma} \frac{f_o \sigma_a}{\alpha k_i B_{tm}} D \right\} \frac{a E_t \zeta}{N_s} \times 10^2 \\ &= \frac{(\text{電気装荷})}{(\text{磁気装荷})} \frac{a E_t \zeta}{N_s} L \times 10^2 \text{ V} \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

となる。 $a E_t / N_s$  はだいたいの数値は定まりもっぱら鉄心長  $L$  と装荷分配比に左右される。

次に電機子回路のインダクタンスの概略値を算定するに、その大半であるギャップ磁束に基づくものについて求めると、(付 11) 式より

$$L_a = \frac{\pi^2}{3} \times 10^{-9} \left( \frac{Z}{ap} \right)^2 \frac{DL}{\delta} \alpha^3 \text{ (H)} \dots\dots\dots (18)$$

を得、 $Z/a$  の値を代入すれば次式となる。

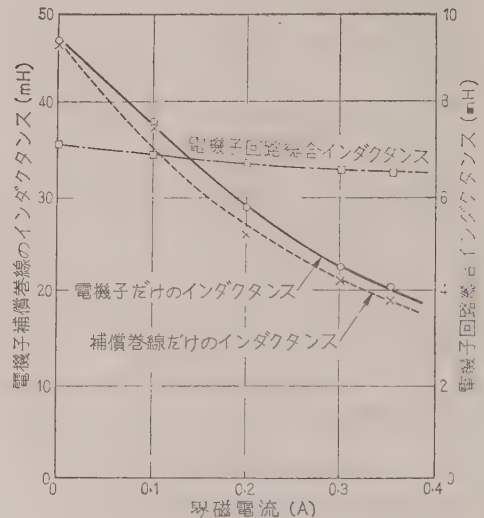
$$\begin{aligned} L_a &= \frac{1}{3} \times 10^{-7} \frac{\alpha}{k_i^2 (1-\gamma)^2 (1-\beta)^2} \left( \frac{E_t}{p n_s} \right)^2 \\ &\quad \times \frac{1}{B_{tm}^2 \delta D L} \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

このほかにスロットの漏れリアクタンス、コイルエンドの部分、中性帯の磁束に基づくものなどがあるが、これらはいずれも磁気抵抗が高く主磁極下における磁

束に基づくリアクタンスの 15~30% 程度にすぎない。厳密には各部のパーマニアンズより求めるべきであるが、この計算結果も実験的に確認することが困難であり、次式のように係数  $K$  を実験的に得るほうが便利と思われる。

$$\text{総合インダクタンス} = L_a (1+K)$$

さらに電機子回路のインダクタンスの場合には界磁磁束がすでに相当程度存在し、これに電機子電流による磁束が重ね合わさるので、通常の電気機械の場合のように鉄部の磁気抵抗を無視して詳細な計算を行うより概算式で補正係数を求めるほうが妥当と考える。第10図は励磁電流によって電機子インダクタンスおよび補償巻線インダクタンスの減少する状態を示したものである。



第10図 電機子回路のインダクタンスと界磁電流の関係

補償巻線を施したものにおいては、前記の主磁極下における磁束をほとんど打ち消すことができるので、インダクタンスも残りに相当する  $L_a$  の 15~30% 程度に減少しかつギャップの長さを減らすことができるので、小形機でもできるだけこれを設けるべきである。

## 8. 温度上昇について

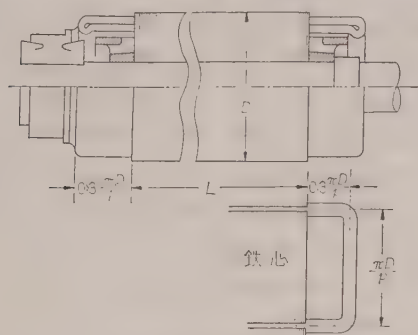
従来の電気機械と趣を異にして、もし高速応性という条件が与えられると制約される条件が非常に多く、このために逆に温度上昇が安全なように冷却方式やさらに絶縁階級を選定することである。また全負荷の状態が必ずしも温度的にもっとも過酷であるとは多くの場合いいにくく、トルクを発生してしかも停止している場合も考慮する必要がある。放熱係数や冷却効果



などは従来の小形機の設定数をそのまま採用すればよいから、いま直流サーボモータの特殊性を加味し定格電流における拘束の場合の温度上昇を求める。まず銅損を  $W_{ac}$  として (10) 式より

$$\begin{aligned} W_{ac} &= I_a^2 R_a \\ &= \left( \frac{I_a}{a} Z \right)^2 2.1 \times 10^{-6} \frac{\left\{ 1 + \frac{5.03}{p} \frac{D}{L} \right\} L}{\pi a^2 f_o \gamma \beta (1-\beta) D^2} \\ &= 6.6 \times 10^{-6} \left\{ 1 + 5.03 \frac{D}{pL} \right\} \\ &\quad \times \gamma \beta (1-\beta) f_o \sigma a^2 D^2 L \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

また冷却面積としては第 11 図のように、全表面より



第 11 図 放熱表面の算定図

一様に放熱するものとみなし冷却面積を次式のようにとる。

$$A_f = \left\{ 1 + 0.6 \frac{\pi D}{pL} \right\} \pi DL + \pi \frac{D^2}{4} \dots\dots (21)$$

熱放散係数を  $K_{\lambda_0}$  と置けば、温度上昇  $\theta$  としては

$$\begin{aligned} \theta &= 2.1 \times 10^{-6} \frac{\left\{ 1 + \frac{5.03}{p} \frac{D}{L} \right\} D}{\left\{ 1 + \left( \frac{1}{4} + \frac{1.855}{p} \right) \frac{D}{L} \right\}} \frac{\gamma \beta (1-\beta) f_o \sigma a^2}{K_{\lambda_0}} \\ &\dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

を得る。 $D$  が大なる機械は温度上昇が高いように思われるが、 $D$  が大きいことは機械容量の大きいことを意味している。

## 9. 設 計 例

設計例として 500 W, 2,000 rpm, 110 V 他励分巻形サーボモータの設計値と実側値を比較すると第 1 表のようになる。さらにこの場合の設計定数は次のように選ぶ。設計にあたり概略の推定において電機子直径は 50~70  $\phi$  ぐらいであることを予想し、以下順を追って諸定数を決定する。4 章において、 $\gamma$  の値とし 0.6~0.7 ぐらいの値が適当であることがわかったので、中間値 0.625 を採用する。磁束密度の比  $\varepsilon$  は、軸の部分に 10% の磁束が通ることを含み、 $\varepsilon=1.0$ ,

$\nu=0.25$  より  $\beta=0.23$  とする。あらかじめ計算した第 7 図のような図表より  $D/L=0.5$  ぐらいで  $B_{tm}=16,000$ ,  $f_o=0.30$  を選定すれば、予想時定数とし 12 ms 前後が期待できる。

以上の諸定数より主要寸法を求めると若干の余裕を見込んで次のようになる。

$$\begin{aligned} D &= 6.0 \text{ cm}, L = 11 \text{ cm}, K_f = 0.870, \delta_0 = 0.3, \\ \Phi &= 318,000 \text{ maxwell}, Z = 864 \\ E_p &= 2.01 \text{ V}, \text{ 界磁アンペア回数} = 285 \end{aligned}$$

整流と電機子回路のインダクタンスを低減するために小容量であるが補償巻線付とし、かつギャップの長さを小さく 1% 程度にし、他励界磁の負担を軽くする。しかし、外部抵抗の比  $c=0.4$  と見積る。詳細は再計算を行う。

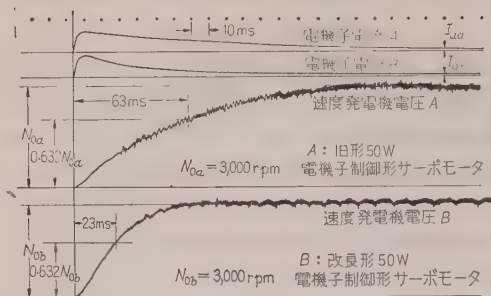
第 1 表 設計値と測定値の比較

	設計値	実 測 値		平均値
		No. 40001	No. 40002	
出 力 (W)	500	500	500	500
回 転 速 度 (rpm)	2,000	1,880	1,950	1,915
電 流 (A)	6.5	6.7	6.3	6.5
界磁電流 (A)	0.3	0.3	0.3	0.3
抵 抗 $R_a$ ( $\Omega$ )	2.68	2.81	2.78	2.795
速度変動率 (%)	24	22.8	22.0	22.4
時 定 数 (ms)	17.5	17.0	17.0	17.0
慣性モーメント ( $\text{g}\cdot\text{cm}^2$ )	9,500	10,000	10,000	10,000
温度上昇 ( $^{\circ}\text{C}$ )	53.5	45	50	—
インダクタンス (mH)	7.65	6.75 mH ( $I_f=0.3 \text{ A}$ ) 7.2 " ( $I_f=0$ )		

第 1 表に示すようにあらかじめ検討された最適と思われる  $\gamma$ ,  $\beta$  の値を採用し、要求される時定数を満たす  $B_{tm}$  と  $D/L$  の値より求めたものはよく設計条件を満足し、小形軽量の直流サーボモータを得た。

## 10. 本設計法による改造結果と結論

出力、回転速度、電圧、温度上昇を同一とし鉄心直径、積厚も同じでただ  $\gamma$ ,  $\beta$  と  $B_{tm}$  を変えることにより旧設計を改造し、同一条件で時定数をほぼ 1/3 に短縮することができた。第 12 図はこのときの電磁オシログラムである。このように電機子各部の磁束密度の分布が均衡の取れるように歯の幅とスロットの深さを定めることが、小形機においてはきわめて有効である。また飽和と鉄損を考慮して歯の最高磁束密度を選定し、常に必要な時定数を得ることができる。また  $\gamma$  の値としては紙面のつごう上多種類の計算結果を示すことができなかったが、第 7 図のように 0.55~0.70 程度の値からはずれなければ致命的な不利は起らず



第 12 図 旧形と改良形のインディシャル  
応答の比較

0.6~0.65 がよい。 $\gamma$  に基づき与えられた時定数を満足する  $D/L$  と  $B_{tm}$  を決定すれば、他はほぼ自動的に定まる。また温度上昇、損失、効率の計算などは全く従来の設計資料に基づき計算すればよい。

以上はサーボモータという特殊性をとりあげて、回転子に基づいた設計法の論旨を紹介したものであり、実際の設計にあたってはもちろん各自の設計資料に基づきかつ使用に便利のように書き改めるべきである。また本設計法はシンクロ電機、リゾルバなどの特殊回転機から、経済性の条件を入れて小形回転機の設計法に機会を得て拡張したいと考えている。

(昭和 36 年 1 月 20 日受付)

#### 文 献

- (1) 大木・重藤：昭 34 連大 478
- (2) 大木・重藤：昭 34 電気学会東京支部大会 73
- (3) 大木・重藤：昭 35 連大 631
- (4) Paul Lebenbaum: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs 68, 1089 (1949)
- (5) Product Engineering 編 p. 18 (1960)
- (6) 坪井：振動論 p. 105 (昭 17)
- (7) A. Tustin: D. C. Machines for Control Systems p. 75 (1952)

#### 付録 I. 各種直流サーボ モータの時定数

(1) 定励磁分巻形サーボモータ この形はすでに論じられ詳細は文献にゆずり、その伝達関数は次のようになる。ただし  $F$  は負荷トルクとする。

$$\frac{n}{E_d} = \frac{K_t/J_0 R_a}{\left(p + \frac{R_a}{L_a} + \frac{F}{J_0}\right) \left(p + \frac{F R_a + K_s K_t}{F L_a + J_0 R_a}\right)} \quad \dots\dots\dots (\text{付 1})$$

しかし汎用のサーボモータとして設計的に伝達関数をみた場合、負荷を任意に想定することはできないのでやむをえずサーボモータ単独の時定数について論ずる。また実際の使用においても負荷軸に換算すると電動機の慣性モーメントがほとんど大半を占める場合が多く、電動機単独の時定数が問題となる場合が多い。

したがって(付 1) 式は

$$Z(p) = 1/K_s \left\{ 1 + \frac{L_a}{R_a} p \right\} \left\{ 1 + \frac{J_0 R_a}{K_t K_s} p \right\} \dots (\text{付 2})$$

となる。以下、電気回路の時定数は無視し機械的定数の  $t_0 = J_0 R_a / K_t K_s$  に  
ついて検討する。

#### (2) 分割直巻形サ ーボモータ

(a) 平衡点近傍の微小変化 界磁抵抗  $R_f$ , トルク, 速度係数を  $K_t'$ ,  $K_s'$ , 印加電圧と電流をそれぞれ  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  とすれば、  
付第 1 図 分割直巻形  
サーボモータ  
発生トルクは

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 + \Delta E = R_f I_1 \\ &\quad + R_a (I_1 + I_2) + K_s' (I_1 - I_2) n \\ E_2 &= E_0 - \Delta E = R_f I_2 \\ &\quad + R_a (I_1 + I_2) + K_s' (I_1 - I_2) n \end{aligned} \quad \dots (\text{付 3})$$

$$T = K_t' (I_1 - I_2) (I_1 + I_2)$$

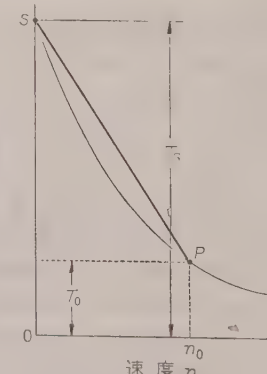
$$= \frac{4 E_0 \Delta E}{R_f (R_f + 2 R_a)} K_t' - \frac{8 \overline{\Delta E}^2 K_t' K_s'}{R_f^2 (R_f + 2 R_a)} n$$

慣性モーメント  $J_0$  とダンピング係数より時定数を求めると

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{J_0 (R_a + 1/2 R_a)}{K_t' \frac{2 \Delta E}{R_f} K_s' \frac{2 \Delta E}{R_f}} \\ &= \frac{J_0 R_a (1+c)}{K_t' (I_1 - I_2) K_s' (I_1 - I_2)} \dots\dots\dots (\text{付 4}) \end{aligned}$$

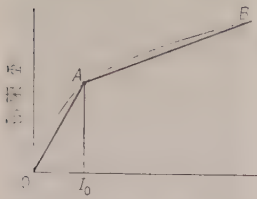
となる。

(b) 定格電圧印加に対する時定数 このように突入電流も多く、トルク・スピード特性も直線でない場合に時定数ということは無理があるが、しいてトルク・スピード特性を直線で近似し過大信号に対する速応性の一つの目安とする。すなわち付第 2 図において直線  $SP$  のように表示し速度に比例した負荷トルクを考える。低速においては電流



付第 2 図 速度-トルク  
特性曲線





付第 3 図 電機子電流と磁束の関係

	トルク係数	速度係数	速度
OA 線上	$K_t' I_a$	$K_s' I_a$	$n \geq n_0$
AB 線上	$K_t' \{I_0 + K_\phi (I_a - I_0)\}$	$K_s' \{I_0 + K_\phi (I_a - I_0)\}$	$n < n_0$

ただし、 $K_\phi$ : 飽和係数

$$\text{いま } \frac{\text{抵抗降下}}{\text{速度電圧}} = \frac{R_a + R_f}{K_s' n_0} = x$$

と置けば、 $0 \leq n \leq n_0$  においては

$$\begin{aligned} E_a &= (R_a + R_f) I_a + K_s' \{I_0 + K_\phi (I_a - I_0)\} n \\ T &= K_t' \{I_0 + K_\phi (I_a - I_0)\} I_a \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{付 5})$$

であるから、トルクは

$$T = T_0 (x + K_\phi) \frac{(x+1) - (1-K_\phi)n/n_0}{(x + K_\phi n/n_0)^2} \quad \dots\dots\dots (\text{付 6})$$

となる。慣性モーメントとダンピング係数より時定数を求める。

$$t_0 = \frac{J_0 n_0}{T_s - T_0} = \frac{J_0 n_0}{T_0} \frac{x^2}{x(K_\phi + 1) + K_\phi} \quad \dots\dots\dots (\text{付 7})$$

さらに定格状態において

$$T_0 = K_t' I_0^2 (R_a + R_f) = K_s' n_0 x$$

であるから (付 7) 式は次式のようにになる。

$$t_0 = \frac{J_0 (R_a + R_f)}{(K_t' I_0) (K_s' I_0) x (K_\phi + 1) + K_\phi} \quad \dots\dots\dots (\text{付 8})$$

このように飽和の影響を考慮に入れて時定数の補正係数を得た。

(3) 分割分巻界磁制御形サーボモータ 電機子回路に定電流装置を設け直流電源に接続し、電流制限は逆起電力によらずもっぱら定電流装置に依存し、界磁磁束により生ずるトルクと負荷との平衡により速度が決定されるもので、定電流装置として非直線抵抗体を使用した場合を検討する。いまこの抵抗体の電圧-電流特性の使用範囲を直線近似して次式のように表示する。

$$V = R_0 I_a - V_0$$

付第 4 図に基づき電圧は

$$E_a = R_a I_a + K_s' (I_{f1} - I_{f2}) n + V$$

トルクを求めると

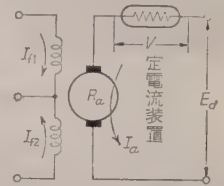
$$T = K_t (I_{f1} - I_{f2}) I_a$$

となり、これよりダンピング係数と慣性モーメントから時定数を求めれば

$$t_0 = \frac{J_0 (R_a + R_0)}{K_t' (I_{f1} - I_{f2}) K_s' (I_{f1} - I_{f2})} \quad \dots\dots\dots (\text{付 9})$$

となり、信号入力によって変化するが、設計にあたっては定格出力状態における界磁磁束をとる。

以上のように (1)~(3) 項までの各種の直流サーボモータの時定数は、結局内容的に (8) 式のような形で表示されることになる。



付第 4 図 分割分巻界磁制御形の接続図

## 付録 II. ギャップ磁束に基づく電機子インダクタンス<sup>(7)</sup>

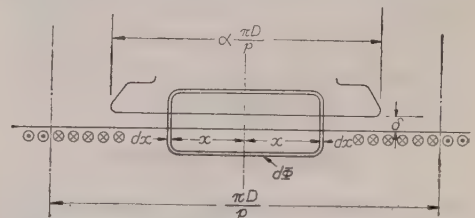
付第 5 図に示すように電機子周辺に均一に導体が配列されているものとし、電機子に単位電流を流したときに生ずるギャップ磁束を求め、かつこの磁束と導体との磁束交鎖を求めればよい。図の  $x$ 、 $-x$  の間における起磁力としては

$$[AT]_x = (I_a/a) 2Zx / \pi D$$

$[AT]_x$  による  $x$  なる点の磁束密度を  $B_x$  とすれば

$$B_x = \frac{4\pi 2Zx}{10 \pi D} \left( \frac{I_a}{a} \right) \frac{1}{2\delta} = \frac{4}{10} \frac{Z}{aD} \frac{x}{\delta}$$

$dx$  なる部分の磁束は  $x$ 、 $-x$  の導体と磁束交鎖するから主磁束下の導体の全磁束交鎖を求めるには



付第 5 図 電機子電流により生ずるギャップ磁束と電機子導体の磁束交鎖

$$\Psi = \int_0^{\frac{1}{2}\alpha\frac{\pi D}{p}} \left( \frac{4}{10} \frac{Z}{aD} \frac{x}{\delta} \right) \left( \frac{2Zx}{\pi D} \right) dx = \frac{\pi^2 Z^2 \alpha^3}{30 a p^3 \delta} D \quad \dots\dots\dots (\text{付 10})$$

これは 1 極についての計算であり、 $p$  極でかつ  $a$  個の並列回路であるから、合成のインダクタンスとしては

$$L_a = \frac{\pi^2}{30} \times 10^{-8} \left( \frac{Z}{ap} \right)^2 \frac{DL}{\delta} \alpha^3 \text{ (H)} \quad \dots\dots\dots (\text{付 11})$$

となる。

UDC 621.315.614.6.015.5 : 621.315.211.027.3.002.3

# 高圧ケーブル用絶縁紙の交流長時間破壊電圧特性と その微視的構造との関係\*

資料・論文

36-118

正員 下山田 富保†

## 1. 緒 言

最近電力ケーブルの超高圧化に伴ない、絶縁紙の物理的性質と電気的性質とを関連づける努力が払われている。たとえば、絶縁紙の気密度とその不均一度が衝撃破壊強度に対し、密度よりも大きく影響することを Hall 氏<sup>(1)</sup>により明らかにされた。また油浸紙の交流長時間破壊強度は低密度紙がより大きいことを Whitehead 氏<sup>(2)~(5)</sup>によって確かめられたことは、高圧ケーブルおよび絶縁紙製造上に寄与するところが大きいと考えられる。

周知のように、絶縁紙の物理的性質は繊維の叩解状態を調整して変化させることが従来より深く研究された。しかし微細な変化を知るには一般に用いられているジョッパリグラーツ式水度測定だけでは充分でないと指摘されている。

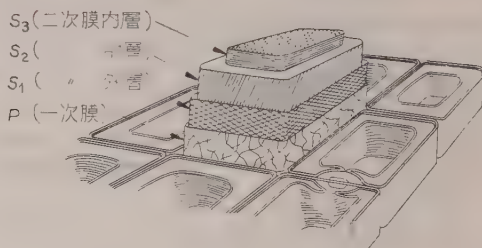
最近種々の工業材料に対する電子顕微鏡の応用研究が盛んになりつつあるが、筆者は絶縁紙表面の微視的構造上の研究に応用し、絶対乾燥状態における破裂強さとの間に興味ある関係が認められた。<sup>(6)</sup>

その後、交流長時間破壊電圧特性を測定し試料間の比較を行ったところ、密度は同程度であっても後述する耐コロナ性にかなり明りょうな差異が認められた。この差異は紙表面の微視的構造の影響が有力な原因であることを種々検討の結果認めることができた。

## 2. 絶縁紙表面の微視的構造

(2・1) 仮導管膜の微細構造 絶縁紙表面における微視的構造を解析するに必要な植物組織細胞の仮導管の微細構造と、その叩解過程における変化の状態を簡単に述べる。

第1図は最近の電子顕微鏡の研究により明らかにされた仮導管膜の微細構造を示したものである。<sup>(7)</sup> 一次膜(P)は薄くあらゐ網目構造で蒸解により大部分が除かれる。二次膜は外層(S<sub>1</sub>)、中層(S<sub>2</sub>)、内層(S<sub>3</sub>)



第1図 仮導管の膜構造<sup>(7)</sup>

からなる。

S<sub>1</sub> 膜は図のように 2 方式の高度に平行したフィブリルからなり、これが交差して螺旋状(繊維軸方向に約 60°)になっている。S<sub>2</sub> 膜の特徴は、一方向に繊維軸と 0~50° の角度で軸の周囲を螺旋状にとりまくフィブリルからなる。そして大部分のセルローズはこの S<sub>2</sub> 膜に集まり、もっとも厚い膜になる。S<sub>3</sub> 膜は P 膜のように薄く、軸に対してほとんど 90° に近い角度でとりまくフィブリルからなる。

繊維を叩解する目的は叩解の機械的作用により S<sub>1</sub> 膜を十分に剝離し、もっとも厚い S<sub>2</sub> 膜をフィブリル化(いわゆる内部フィブリル化)させることにある。そこではじめて柔軟で、水の吸収あるいは収着によって塑性変形しやすい繊維になる。<sup>(8)</sup>

また叩解により繊維表面は繊維間結合に好つごうな OH 基を露出して、活性状態となったりリボン状薄膜になる。したがって望ましい紙表面の微視的構造とは、S<sub>2</sub> 膜の相互に平行したフィブリル化膜を多く露出している状態である。

しかしパルプの蒸解条件が不適当であると、単に S<sub>1</sub> 膜のフィブリル化に終る場合(いわゆる外部フィブリル化)や S<sub>1</sub> 膜の剝離が不完全で S<sub>2</sub> 膜の膨潤が妨げられ局部的な不均一叩解になる場合がある。

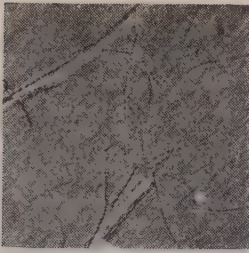
(2・2) 叩解条件による絶縁紙表面の微視的構造の変化 ここではあらかじめ蒸解条件、すなわち化学的特性を変えたパルプをジョッパリグラーツ SR 40~41° に一定して叩解した場合の微視的構造の変化を説明する。

第2図(a)は蒸解条件が適当(平均重合度 1,000~

\* The Relation between Volt-time Breakdown and Microstructure of Insulating Paper for High Voltage Cable. By T. SHIMOYAMADA, Member (Hitachi Wire & Cable, Ltd.).

† 日立電線株式会社





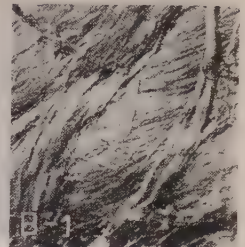
(a) 理想的叩解状態の例  
 $S_2$  膜のフィブリル化  
 (内部フィブリル化)  
 $S_2-S_2$  結合  
 $\times 5,000$  (縮尺 2/3)



(b) 蒸解条件不適当なため、  
 不均一叩解となった例  
 $S_1-S_1$  結合  
 (繊維の損傷に注意)  
 $\times 5,000$  (縮尺 2/3)



試-No. 15 (OF 40 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 3.8  
 耐コロナ性: 86.4%  
 $S_2-S_2$  結合



試-No. 16 (OF 40 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 2.5  
 耐コロナ性: 67.8%  
 不均一叩解 (あらい  $S_2$  膜  
 フィブリル化)



(c) 蒸解条件不適当な場合の  
 叩解の例  
 $S_1$  膜の外部フィブリル化  
 $S_1-S_1$  結合  
 $\times 5,000$  (縮尺 2/3)



(d) 叩解過度の場合の例  
 ミクロフィブリル膜内に  
 微小孔が多数発生  
 $\times 18,500$  (縮尺 2/3)



試-No. 22 (OF 70 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 3.1  
 耐コロナ性: 84.4%  
 $S_2-S_2$  結合



試-No. 23 (OF 70 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 1.6  
 耐コロナ性: 52.9%  
 $S_1-S_1$  結合

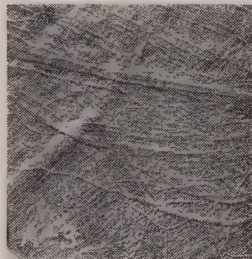
第 2 図 叩解条件による絶縁紙表面の  
 微視的構造の変化

1,300 の範囲にある)であったため、 $S_1$  膜の大部分が剝離されて  $S_2$  膜が十分に膨潤し、内部フィブリル化された場合である。このようにほとんど大部分の繊維が叩解されておれば、繊維間結合は  $S_2-S_2$  結合と称することができる。

第 2 図 (b) は蒸解過度 (このことは平均重合度が 1,000 以下であることから判断される) のパルプを叩解したときの状態である。 $S_1$  膜の剝離は不十分となり、 $S_2$  膜は局所的なフィブリル化を起し、いわゆる不均一叩解となる。

したがって不均一叩解の程度の差によって、これらの繊維の結合を  $S_1-S_1$  結合、あるいは  $S_2-S_1$  結合 ( $S_2 > S_1$ ) として区別することにする。この不均一叩解程度の定量には Simons 氏<sup>(9)</sup>の黄、青の 2 色染料で繊維を染色する方法を応用することができる。すなわち外部フィブリル化が主体である  $S_1-S_1$  結合は黄色に染色し、内部フィブリル化されておればその程度によって黄-青色の中間色調を呈するからおよその区別ができる。

第 2 図 (d) は蒸解不足のため全く  $S_1$  膜のフィブリル化に終わった場合の叩解状態であるが、第 2 図 (d) は叩解が過度に進行した場合の微視的構造である。後者の場合にはミクロフィブリル化膜間に微小円孔が多



試-No. 25 (OF 100 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 4.3  
 耐コロナ性: 91.2%  
 $S_2-S_2$  結合



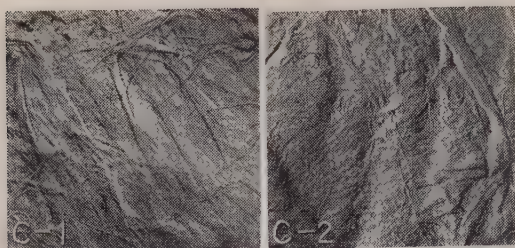
試-No. 26 (OF 100 $\mu$ )  
 絶乾比破裂強さ: 1.9  
 耐コロナ性: 78.5%  
 $S_1-S_1$  結合

第 3 図 試料表面の微視的構造 (A, B 類)  
 $\times 5,000$  (縮尺 2/3)

数発生するのが見られる。

以上の例のように絶縁紙表面の微視的構造は、繊維の蒸解および叩解条件と深い関係にあることを代表的例によって示したものであるが、実際の絶縁紙表面の微視的構造はこの代表的例と常に同様になるとは限らない場合がある。

しかし第 2 図を標準とすれば少なくとも  $S_2-S_2$  結合と  $S_1-S_1$  結合を区別することは容易である。この両者の微視的構造の区別は、さきに絶縁紙の核磁気共鳴吸収スペクトルより求めた結晶化度の比較<sup>(10)</sup>および吸湿特性の比較<sup>(11)</sup>などによっても確かめえたところである。



試-No. 17 (OF 40 $\mu$ )  
絶乾比破壊強さ：2.9  
耐コロナ性：80.8%  
 $S_2$ - $S_1$  結合

試-No. 18 (OF 50 $\mu$ )  
絶乾比破壊強さ：—  
耐コロナ性：78.6%  
 $S_2$ - $S_1$  結合



試-No. 24 (OF 70 $\mu$ )  
絶乾比破壊強さ：3.1  
耐コロナ性：78.8%  
 $S_2$ - $S_1$  結合

試-No. 27 (OF 100 $\mu$ )  
絶乾比破壊強さ：2.5  
耐コロナ性：85.5%  
 $S_2$ - $S_2$  結合

第 4 図 試料表面の微視的構造 (C 類)

筆者はさきに、絶乾状態における比破壊強さと紙-表面の微視的構造が密接に関連していることを認めたが、<sup>(6)</sup> 交流長時間破壊特性および衝撃破壊強度などとの関係についても、この点の究明は高圧ケーブル用絶縁紙の改質にとって特に重要な問題点であると考え

(2・3) 試料絶縁紙の微視的構造とその物理、化学的特性 第 3 図～第 5 図は本実験に用いた試料 (実際には第 2 表に示した 30 種の試料について行った) の中から代表的試料の微視的構造を示したものである。

第 3 図 A-1 (試-No. 15), A-2 (試-No. 22), A-3 (試-No. 25) などは主として  $S_2$  膜の内部フィブリル



耐コロナ性 62.8%, 不均一叩解

第 5 図 高圧コンデンサ用絶縁紙の微視的構造

化の認められる試料表面の微視的構造で、ここでは A 類試料として区別する。

同図 B-1 (試-No. 16), B-2 (試-No. 23), B-3 (試-No. 26) などは明らかに  $S_1$  膜の外周部フィブリル化が中心となり、 $S_2$  膜は局部的フィブリル化に終わった不均一叩解であるので  $S_1$ - $S_1$  結合である。これらを B 類試料として区別した。

第 4 図 C-1 (試-No. 17), C-2 (試-No. 18), C-3 (試-No. 24), C-4 (試-No. 27) などは、大部分が  $S_2$  膜の内部フィブリル化が見られるが、核磁気共鳴吸収スペクトルより求めた結晶化度がかかなり大きいため、(第 3 表参照) 不均一叩解もかなり起っているのを  $S_2$ - $S_1$  結合として区別した。

第 5 図は高圧コンデンサ紙の微視的構造であるが、ほとんど大部分の試料はこれと同様の不均一叩解を行っていることが認められた。

なお第 1 表は以上の試料のおもな物理、化学的特性を示したが、これらの特性だけによることは後述の耐コロナ性の異なる理由を説明することも、またこれから改善方向を見出そうとすることもほとんど不可能に近い。しかし上述の紙表面の微視的構造上の差異は、絶縁紙の特性を評価する場合に根本的に重要な意味をもつものであると考えられてくる。

第 1 表 試料の物理、化学的特性

試料	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	気密度 (g/100cc)	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )		伸び (%)		破壊強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	灰分 (%)	水率 (%)	浸透電圧 (V/cm)	平均重合度 (P)	耐コロナ性 (%)
				縦	横	縦	横						
OF 40	No. 15	0.048	0.86	636	10.8	3.8	2.1	4.9	2.6	0.37	71.4	1,220	86.4
	" 16	0.045	0.77	227	10.4	2.3	2.4	6.2	2.0	0.33	29.0	1,170	67.8
	" 17*	0.036	0.92	5,000	14.6	3.1	1.7	8.6	"	0.36	30.8	1,210	80.8
OF 50	No. 18*	0.050	0.82	700	8.2	5.2	1.5	7.0	2.2	0.33	28.6	1,160	78.6
OF 70	No. 22	0.072	0.90	1,824	11.8	3.2	2.1	7.6	4.7	0.32	64.9	1,040	84.4
	" 23	0.070	0.86	1,551	11.0	2.9	2.7	10.1	3.2	0.43	19.4	1,310	52.9
	" 24*	0.073	"	1,200	12.5	3.4	2.8	10.5	4.2	0.38	28.0	1,090	78.8
OF 100	No. 25	0.106	0.71	485	10.7	4.8	2.9	6.8	5.0	0.40	69.8	1,130	91.2
	" 26	0.100	0.73	358	9.7	2.3	3.0	7.7	3.7	0.56	51.3	1,430	68.5
	" 27*	0.102	0.77	640	8.9	3.4	2.8	9.2	4.6	0.39	28.6	1,200	85.5

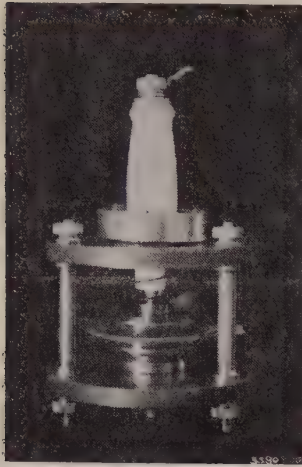
(注) \* 最近の高圧ケーブル用紙



## 3. 油浸紙の交流長時間破壊電圧特性と

## 微視的構造との関係

## (3.1) 交流長時間破壊強度測定法 厚さ約 0.35



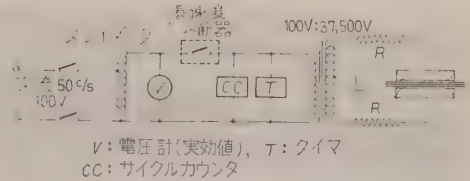
第 6 図 破壊用平板電極

mm になるように試料の枚数を調節して第 6 図に示す電極にはさみ、100°C で 6 h 真空乾燥後、脱ガスした OF ケーブル油を注入し、24 h 常温で真空含浸した。

第 6 図の電極は有効直径 25 mm、電極端における電位の傾きを緩和するため曲率半径 18 mm の丸みをもたせ、さらにポリエステル樹脂

に補強してある。測定時の電極荷重は 1 kg に調節する。

交流長時間破壊強度を測定する電圧印加法は第 7 図の装置で 50 c/s の一定電圧を印加し、破壊にいたるまでの時間と短時間はサイクルカウンタで、長時間はタイマで測定した。この場合の電極の損傷を少なくするため高速度しゃ断器を用い、0.5 サイクル程度で回路のしゃ断を行うようにした。なお試料の破壊ごとに電極を研磨して平らにし、破壊の跡をのこさないよう



第 7 図 油浸紙の交流 V-t 特性測定回路

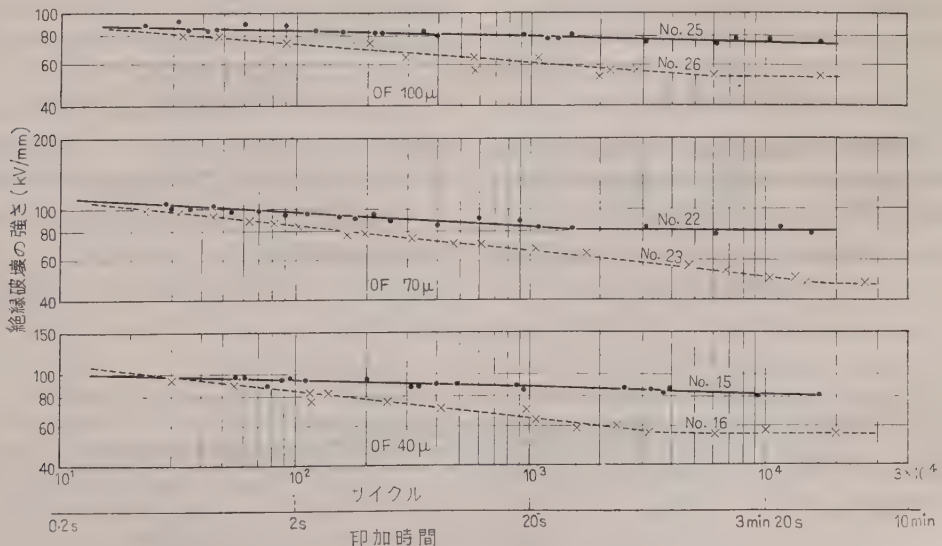
にした。

(3.2) 測定結果 破壊時間が  $10^2 \sim 10^6$  サイクルにおける交流長時間破壊電圧  $E$  とその耐コロナ特性  $\left( = \frac{10^6 \text{ サイクル}(E)}{10^2 \text{ サイクル}(E)} \times 100\% \right)$  を計算して第 2 表に示した。第 2 表の中で第 3 図、第 4 図に微視的構造を示した各試料の印加時間と絶縁破壊強度との関係を第 8 図、第 9 図に代表的例として示した。

第 8 図において交流長時間破壊特性(以下 V-t 特性と略す)にすぐれた試料は、いずれも  $S_2$  膜の内部フィブリル化を中心として叩解された試-No. 15, 22 および 25 の試料である。すなわち  $S_1$  膜の外部フィブリル化に終った  $S_1-S_1$  結合をした試-No. 16, 23, 26 はいずれも V-t 特性に劣ることが確かめられた。なお、第 2 表には第 5 図のような不均一叩解の微視的構造をもつ高压コンデンサ用紙について行った V-t 特性の詳細を示した。

第 9 図は第 4 図 C 類で述べた  $S_2-S_1$  結合の微視的構造をもつ高压ケーブル用絶縁紙の V-t 特性であるが、その耐コロナ性は  $S_2-S_2$  結合にくらべて若干劣ることが示された。

以上の結果から、第 1 表、第 2 表に見るように試料



第 8 図 試料の交流長時間破壊電圧特性 (1)

第 2 表 交流長時間破壊電圧特性

試 番	公 称 厚 (mm)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	気 密 度 (s/100cc)	交 流 破 壊 電 圧 特 性				
				破 壊 / 強 さ (kV/mm)			耐コロナ性 (%)*	実 験 式** (kV)
				10 <sup>2</sup> サイクル	10 <sup>4</sup> サイクル	10 <sup>6</sup> サイクル		
1 T-1	0.06	0.80	920	81.4	55.6	49.0	60.2	119/2 <sup>0</sup> ・08260
2 T-3	"	0.78	913	80.2	55.5	46.0	57.4	116/2 <sup>0</sup> ・09000
3 T-4	"	0.62	—	83.0	59.5	58.0	70.0	115.7/2 <sup>0</sup> ・07218
4 T-5	"	0.65	2,710	80.7	55.3	55.3	68.5	117.5/2 <sup>0</sup> ・08193
5 T-D	"	0.74	619	80.9	54.8	47.0	58.0	119.5/2 <sup>0</sup> ・08466
6 A-1	"	0.81	988	79.3	55.8	45.5	57.2	112.8/2 <sup>0</sup> ・07647
7 A-3	"	0.71	4,740	90.6	60.3	56.0	58.4	136.3/2 <sup>0</sup> ・08855
8 M-1	"	0.53	1,026	83.2	61.0	61.0	73.3	121.9/2 <sup>0</sup> ・08276
9 M-2	"	0.69	10,000以上	90.9	65.7	62.0	68.2	125.7/2 <sup>0</sup> ・07036
10 M-3	"	0.64	1,870	86.1	60.4	54.0	62.8	122.7/2 <sup>0</sup> ・07696
11 M-4	"	"	"	82.3	60.7	54.7	66.3	112.1/2 <sup>0</sup> ・067019
12 M-5	"	0.61	2,818	87.6	63.0	53.0	60.6	121.7/2 <sup>0</sup> ・07154
13 T-A	0.025	0.75	750	106.0	69.0	68.0	64.2	156.2/2 <sup>0</sup> ・09546
14 T-B	"	0.76	—	103.8	79.0	76.5	73.7	181.3/2 <sup>0</sup> ・12100
15 OF 40 <sup>1</sup>	0.040	0.86	636	92.6	80.0	80.0	86.4	106.99/2 <sup>0</sup> ・021332
16 OF 40 <sup>2</sup>	"	0.77	227	82.6	56.0	56.0	67.8	135.0/2 <sup>0</sup> ・106019
17† OF 40 <sup>3</sup>	"	0.91	4,953	99.8	82.9	80.6	80.8	144.73/2 <sup>0</sup> ・08065
18† OF 50 <sup>1</sup>	0.050	0.81	699	93.0	76.3	73.1	78.6	135.4/2 <sup>0</sup> ・08635
19 T-2	0.070	0.77	796	80.9	53.4	46.0	56.8	122.8/2 <sup>0</sup> ・09023
20 T-6	"	0.63	1,720	83.7	55.8	45.0	53.8	125.2/2 <sup>0</sup> ・08756
21 T-L	"	0.81	523	81.5	55.7	49.0	60.1	119.3/2 <sup>0</sup> ・08274
22 OF 70 <sup>1</sup>	"	0.90	1,824	93.5	79.0	79.0	84.4	124.3/2 <sup>0</sup> ・061186
23 OF 70 <sup>2</sup>	"	0.86	1,551	85.1	49.6	45.0	52.9	146.3/2 <sup>0</sup> ・117556
24† OF 70 <sup>3</sup>	"	0.85	1,157	90.6	79.5	71.4	78.8	117.78/2 <sup>0</sup> ・056751
25 OF 100 <sup>1</sup>	0.100	0.71	485	83.3	76.0	76.0	91.2	94.34/2 <sup>0</sup> ・02889
26 OF 100 <sup>2</sup>	"	0.73	358	74.5	54.0	51.0	68.5	102.20/2 <sup>0</sup> ・07349
27† OF 100 <sup>3</sup>	"	0.77	640	92.6	85.4	73.0	85.5	100.46/2 <sup>0</sup> ・03526
28 T-G	0.125	0.78	789	77.4	66.0	65.7	85.0	118.4/2 <sup>0</sup> ・09237
29 T-H	"	"	402	65.1	49.5	49.0	60.9	99.2/2 <sup>0</sup> ・09141
30 T-K	"	0.79	495	62.9	48.0	47.0	63.6	86.7/2 <sup>0</sup> ・06952

(注) \* 耐コロナ性(%) =  $\frac{10^6 \text{ サイクルにおける破壊の強さ}(E)}{10^2 \text{ サイクルにおける破壊の強さ}(E)} \times 100$

\*\* E: 印加時間 (サイクル)

T.A.M. の試料は高圧

† 最近の超高压ケーブル紙

コンデンサ用紙を示す

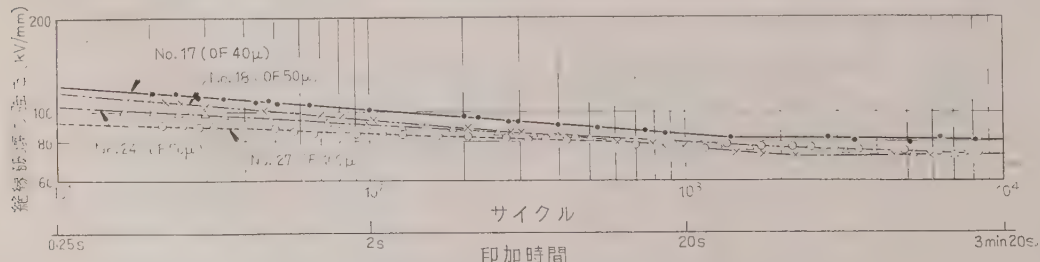
の密度が同様であっても、紙表面の微視的構造の違いは V-I 特性を左右する有力な原因の一つであることが確かめられた。

#### 4. 結果の検討

(4.1) 縦断面における繊維層間の結合状態 第10図は試料の縦断面の薄片を作り、繊維層間の結合状態を顕微鏡で比較した場合の代表的例を示したものである。すなわち第10図(a)は試-No.22, (b)図は試-No.23, また(c)図は試-No.24の場合である。

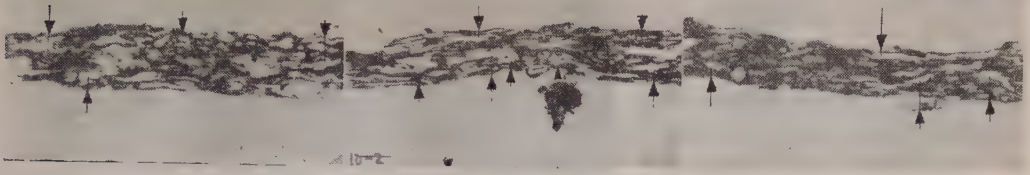
(a) 図の  $S_2$ - $S_2$  結合と (c) 図の  $S_2$ - $S_1$  結合における繊維層間に見られるギャップは、(b) 図の  $S_1$ - $S_1$  結合の場合にくらべて形状において小さく、その数においても少ない傾向が認められた。

これは前述のように  $S_2$  膜の内部フィブリル化は繊維を柔軟性にし、塑性変形しやすいリボン状薄膜となるためからみ合いやすく、その結合状態はち密となり、繊維層間にギャップの発生の機会を少なくする。しかし  $S_1$  膜の外部フィブリル化されたフィブリル同志のからみ合いが多くなることは、かえって繊維—繊維



第 9 図 試料の交流長時間破壊電圧特性 (2)

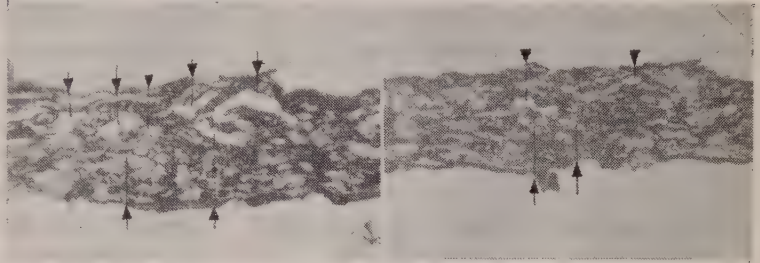


(a) 試-No.22 ( $S_2$ - $S_2$  結合)(b) 試-No.23 ( $S_1$ - $S_1$  結合)(c) 試-No.24 ( $S_2$ - $S_1$  結合)

第 10 図 絶縁紙縦断面の繊維間結合状態 [×140(縮尺 2/3)]

繊維間の結合を妨げる結果となつてギャップを発生しやすくするものと解釈される。

第 11 図は油浸紙の交流長時間破壊試験後の試験片をフクシンで染色し、ワックス化部分とそうでない部分の薄片を比較した場合である。同図に見るようにコロナ放電によるワックス化部分には、比較的多くのギャ



(11-1) フクシンで染色されないワックス化部分

(11-2) フクシンで染色された部分

第 11 図 交流長時間破壊電圧特性試験後の縦断面 [×180(縮尺 2/3)]

ップを含むことが認められる。すなわち微視的および巨視的のいずれであっても繊維間の結合状態のいかんは、 $V-t$  特性に影響を与える重要因子であることをうかがうことができる。

またモデルケーブルを作り、印加電圧 34 kV/mm、温度 80°C における誘電正接の時間的変化率を測定した場合に、 $S_2$ - $S_2$  結合した試-No.22 は  $S_1$ - $S_1$  結合の試-No.23 より変化率が小さかった。これは第 10 図に示したように絶縁層中のギャップの少ないものほど、同一印加電圧ではコロナ放電量が少ないため、絶縁油はワックス化しにくく、したがって誘電正接の変化率<sup>(12)</sup>が少なくなるためである。

#### (4.2) 微視的構造と繊維間結合の構造的性質 第

3 表は絶縁紙引張試験片を 24 h 蒸留水に浸漬してから、アルコール、アセトン、ベンゾールの順序に浸漬して置換脱水を行い、たえずベンゾールの蒸発乾燥を妨ぐようにして耐水の水素結合強度に相当する引張強さ ( $TS'$ ) を求めた結果である。

同表より明らかなように  $S_1$ - $S_1$  結合(第 3 図 B 類, 試-No.16, 23, 26)の耐水の水素結合強度はもっとも小さく 1.5 kg/mm<sup>2</sup> (処理前の引張強さ  $TS$  の 13.5%),  $S_2$ - $S_2$  結合 (第 3 図 A 類, 試-No.15, 22, 25) のそれは平均 2.5 kg/mm<sup>2</sup> (処理前の引張強さ  $TS$  の 23~33%) で耐水の水素結合強度の絶対値と、耐水の水素結合量はともに大きいことが認められた。

また C 類の試験片を薄肉ガラス管に入れ、常温で

第 3 表 繊維間結合の構造的性質\*

試料厚さ (μ)	A 類 (第 3 図) $S_2$ - $S_2$ 結合			B 類 (第 3 図) $S_1$ - $S_1$ 結合			C 類 (第 4 図) $S_2$ - $S_1$ 結合					D 類 (参考) $S_2$ - $S_2$ 結合		
	$C_{NMR}^{(1)}$	$TS^{(4)}$	$TS'^{(5)}$	$C_{NMR}$	$TS$	$TS'$	$C_{NMR}^{(1)}$	$C_{NMR}'^{(2)}$	$\Delta C^{(3)}$	$TS$	$TS'$	$C_{NMR}$	$TS$	$TS'$
40	—	—	—	92.3	9.3	1.1 (11.9)	93.1	89.6	3.5	9.6	2.9 (30.1)	—	—	—
70 <sup>(1)</sup>	86.4	11.2	2.7 (24.1)	91.7	11.8	1.5 (12.8)	92.8	89.6	3.2	10.3	2.5 (24.0)	84.0	7.6	2.6 (34.8)
70 <sup>(2)</sup>	—	—	—	—	14.1	1.8 (12.9)	—	—	—	—	—	82.0	8.0	2.5 (31.5)
100	85.9	10.7	2.4 (22.4)	88.9	9.3	1.5 (16.1)	93.1	89.5	3.6	10.0	2.3 (22.4)	—	—	—
平均		10.5	2.5 (23.0)		11.1	1.5 (13.5)	93.0	89.6	3.4	9.9	2.5 (25.0)		7.8	2.6 (33.1)

(注) \* 耐水の結合強度測定用試料の処理順序

蒸留水中に浸漬 (24 h) → 50% アルコール浸漬 (2h) → 100% アルコール浸漬 (2h) → アセトン浸漬 (2h) → ベンゾール浸漬 (2h)

添字 (1), (2): 処理前および後の核磁気共鳴吸収スペクトルより求めた結晶化度 (%)

(3)  $\Delta C = (1) - (2)$ : 繊維結合間に新生した水素結合数 [全水素結合数に対する割合 (%)]

(4), (5): 処理前および後の引張り強さ (kg/mm<sup>2</sup>)

括弧は  $TS'/TS \times 100$ : 繊維間の耐水の水素結合量に相当する。

真空乾燥してから封じ切り、核磁気共鳴吸収スペクトルより結晶化度を求めた結果を同表に示した。これによると全水素結合数（セルロース分子間と隣接繊維間に新生した水素結合の和）の 3.4% は繊維間に新生した水素結合である。しかし、これは水分子により容易に破壊されるような弱い水素結合である。

ところがこれに全水素結合数の約 1% 相当の耐水的水素結合（耐水的水素結合強度  $2.5 \text{ kg/mm}^2$  に該当する）が繊維間に新生すると、第 3 図、第 4 図には付記したように比破裂強さを増し、第 8 図、第 9 図のように  $V-t$  特性を向上することが認められたわけである。

しかもこの傾向は  $S_1-S_1$  結合よりも  $S_2-S_2$  結合の場合に顕著であるため、 $V-t$  特性においてもいっそうすぐれた結果を与える。Cort 氏<sup>(13)</sup>も重水の置換速度恒数の測定から同様の結果を報告している。

第 12 図は前述の結果を湿潤処理前後における引張試験片の破断状態の違いから説明したもので、紙表面の微視的構造の違いによって破断状態が異なることを示した。すなわち  $S_1-S_1$  結合の場合は隣接繊維間の結合は水の浸潤により破壊されやすく、繊維は外力に対して引き抜かれやすい。一方、 $S_2-S_2$  結合では繊維自身から破断が起りやすいことを示すものである。

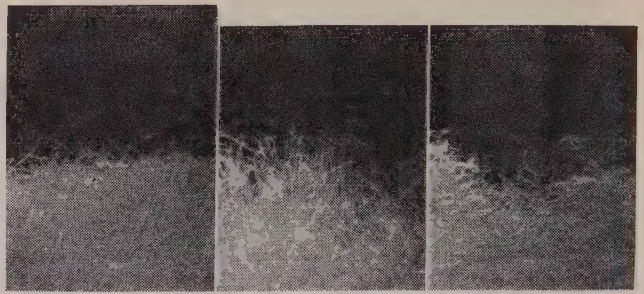
以上の検討のほかさきにも述べたように 98% RH の高湿度における吸湿速度こう配は、微視的構造により支配を受け、 $S_2-S_2$  結合の場合が吸湿しにくいこと、また密度と耐コロナ性との関係は低密度紙が一般に高い結果を示すが、同程度の密度の場合でも微視的構造によって耐コロナ性に相違のあることが認められた。<sup>(11)</sup>

以上述べた諸検討の結果と  $V-t$  特性の測定結果を総合すると、 $S_2-S_2$  結合の微視的構造をもつ絶縁紙からなる絶縁層が油浸された場合にできる繊維層間の油通路は、かなり長いものに匹敵する構造になると推定される。すなわち、電子およびイオンに対する障壁作用としてすぐれた構造になるため、 $V-t$  特性に寄与できるものと考えられる。

## 5. 結 言

高圧ケーブル用絶縁紙の交流長時間破壊特性におよぼす紙表面の微視的構造の影響について行った実験の結果を要約すると、

(1) 絶縁紙表面の微視的構造は、蒸解および叩解



原試料（湿潤前）  
試-No. 23

湿潤後の破断状態  
試-No. 23

湿潤後の破断状態  
試-No. 22

〔湿潤処理法は第 3 表（注）参照〕

第 12 図 湿潤紙の引張り試験時における破断状態  
〔 $\times 20$ （縮尺 2/3）〕

条件によって変化することが認められた。

(2) 紙表面の微視的構造に、二次膜中層 ( $S_2$  膜) の内部フィブリル化 ( $S_2-S_2$  結合) が認められる高圧ケーブル用絶縁紙は、そうでないものにくらべて  $V-t$  特性においてすぐれた結果を与える。

(3) すなわち二次膜中層が内部フィブリル化されて、 $S_2-S_2$  結合した絶縁紙よりなる油浸絶縁層は、電子、イオンなどの障壁作用にすぐれた構造であることを示した。

(4) 以上の結果は絶縁紙の電気的性質とその物理的性質とを関連づける場合、基本的な紙表面の微視的構造に注意することの重要性を示すものである。

終りに臨みご指導賜った東京工業大学斎藤幸男教授、有益なご助言を賜った武蔵工業大学鳥山四男教授、日立電線株式会社久本研究部長に深く感謝の意を表す。また実験に協力いただいた同社電線工場佐藤、阿部両氏にお礼申し上げる。(昭和 36 年 2 月 6 日受付)

## 文 献

- (1) H.C. Hall & E. Kelk: Proc. Instn. Elect. Eng., **103**, Pt. A, 564 (1956); H.C. Hall: ibid 571 (1956)
- (2) J.B. Whitehead: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **59**, 715 (1940)
- (3) J.B. Whitehead: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **59**, 660 (1940)
- (4) J.B. Whitehead: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **61**, 618 (1942)
- (5) J.B. Whitehead & J.M. Kopper: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **64**, 171 (1945)
- (6) 下山田・阿部: 日立評論 別冊 31 号, 59 (昭 34-7)
- (7) H.W. Emerton: Fundamentals of the Beating Process 41 (The British Paper and Board Industry Research Association 1957)
- (8) たとえば W. Gally: Fundamentals of Paper Making Fibres 377 (Technical Section of the British Paper and Board Maker Association 1958)
- (9) F.L. Simons: Tappi **33**, 312 (1950)
- (10) 下山田・斎藤: 昭 35 電気学会東京支部大会 107
- (11) 下山田: 日立評論 **42**, 702 (昭 35)
- (12) 佐藤・下山田・安田: 日立評論 **41**, 951 (昭 34)
- (13) H. Corte & H. Schaschek: Das Papier **9**, 21/22 (1955)



UDC 621.313.2.04

## 直流機設計における比磁気および比電気装荷\*

資料・論文

36-119

正員 岡 次 雄†

## 1. ま え が き

直流機設計でいわゆる出力方程式を用いてまず電機子外径を定める方法は、広範囲の容量にわたって調和のとれた経済的な設計をするうえからいって意義がある。ただ、これが便利に実用されえないのは、その出力方程式における諸係数の数値が、設計製作技術の基礎的な諸因子の互に連結した状態で統計的に定められていて、電機子の使用材料の材質や放熱の方式の改善に伴ってどのように修正されるべきかを知ることができないためである。

いま、内部出力(起電力×電機子電流)を  $N_i$ 、毎秒回転数を  $n$ 、比磁気装荷を  $B_g$ 、\*比電気装荷を  $A_o$ 、ギャップ部分の磁束断面の理想長さを  $L_i$ 、極弧率を  $\phi$  とすると

$$N_i/n = \phi \pi^2 B_g A_o D^2 L_i \dots\dots\dots (1)$$

の関係式がなりたつ。

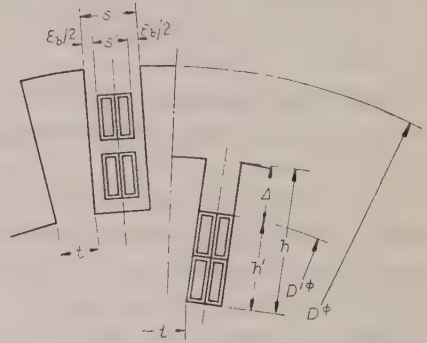
ゆえに、出力方程式の形や係数を論ずることは、 $B_g$  および  $A_o$  の形や係数を論ずることになる。すなわち活用できる出力方程式を求めるためには、まず比磁気装荷や比電気装荷を構成する基礎的な諸因子の連結関係を明らかにしなければならない。

本文は、このような理由から比磁気装荷および比電気装荷の合理的な基本式を求め、その基礎的な構成因子である温度上昇値、固有抵抗、整流によるうず電流損の係数、スロット絶縁の厚さなどの連結関係すなわち形態(Gestalt)を明らかにしようとするものである。そしてこの目的は、直流機設計の出力方程式の形態を論ずる準備をするだけでなく、設計過程で使用する比磁気および比電気装荷の標準式を作ることにある。

なお、形態を表わすために形態図を用いることを試みた。これは Flow graph<sup>(1)</sup> にならったものであるが、数値的關係は別表を掲げて付記することにした。

## 2. 記 号 の 説 明

第1図はスロット関係の記号、第5図は主界磁関係の記号を説明した図である。第1図に示した  $D'$  はス



第1図 スロットおよび歯関係記号の説明

ロット絶縁を取り去って歯を電機子中心に沈めると仮想するときの仮想電機子直径を表わす。図示されていない記号について次のように定める。

$A_o$ : 比電気装荷,  $A_s$ : 毎スロットアンペア導体数,  $B_g$ : 比磁気装荷,  $B_p$ : 主磁極の許容磁束密度,  $B_i$ : 歯根本の許容最大磁束密度の見掛け値,  $e_o$ : 主磁極弧下における無負荷平均整流子片間電圧,  $e_r$ : リアクトランス電圧,  $f$ : 周波数,  $k_{dA}$ : 定格回転数のときの電機子表面からの放熱係数,  $k_i$ : 電機子鉄板積重ね率,  $k_p$ : 主磁極鉄板積重ね率,  $L$ : 電機子鉄板積厚さ,  $L_{\infty}$ : 電機子コイル毎半巻回平均長さ,  $L_i$ : ギャップ磁束断面の軸方向の理想長さ,  $n_s$ : スロット総数,  $p$ : 磁極対数,  $v_a$ : 電機子周速,  $w$ : 毎電機子コイル巻回数,  $W_A$ : 電機子巻線損,  $\alpha$ : スロット内導体幅と歯根本の幅との比,  $\theta_A$ : 抵抗法による電機子コイルの設計規定温度上昇値,  $\tau$ : 磁極ピッチ,  $\lambda$ :  $L_i$  の  $\tau$  に対する比,  $\rho$ : 固有抵抗,  $\sigma_p$ : 主磁極漏れ係数,  $\phi_s$ : 毎スロット磁束数。

また、形態図における記号を次のように定める。

→印は前提から結論の方向を示し、→→印は結果によって前提を訂正するときの方向を示す。因子の記号は一般に○印で表わす。特に定格電圧、電流、回転数や固有抵抗、歯根本の磁束密度などのような与えられた基礎因子は●印を、また特に最後の結論を表わす因子を明示するときには◎印を用いる。なお、すでに基礎因子との連結関係を説明したものについて、その連結関係を省略して特に◎印の因子記号を用いることがある。

\* Specific Electric and Magnetic Loadings for DC Machine Design. By T. OKA, Member (Faculty of Engineering, Yamaguchi University).

† 山口大学工学部電気工学科、電気機器担当

その他の記号については本文中でそのつど説明する。また明示されない単位は MKS のものとする。

### 3. 基礎概念

本稿の基礎概念の主要なものを列挙すると、

(1) 電機子スロット内のスロット絶縁と層間絶縁とはだいたい定格電圧によって定まる性質のものであるから、くさびなどととも一定の定格電圧に対し一定として取り扱う。

(2) 電機子コイルの銅損にはオーム損を考慮することはいまでもないが、整流によるうず電流損をも考慮する。

このことは、本稿の諸設計基本式においてスロット内導体高さ、ひいては磁極ピッチや比磁気装荷や比電気装荷などが電機子外径の増大に伴って一定の有限値に近づくという重要な性質を与えることになる。

この電機子コイルの整流によるうず電流損のオーム損に対する割合は、Richter 氏の近似式<sup>(2)</sup>を変形すると、 $2w$  層巻きとして、 $T_1$  を整流子上の一点が一磁極ピッチを移動する期間、 $T_0$  を整流期間、 $\lambda'$  を電機子コイルの端接部長さと鉄心部長さとの比、 $u$  をスロット内導体の列数、 $b_0$  を 1 個の導体の幅として

$$\frac{0.07}{1+\lambda'} \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} (2w)^2 \left( 2\pi \sqrt{\frac{ub_0 l_0 f}{s \rho}} \right)^3 \left( \frac{h'}{2w} \right)^3$$

で表わされる。この値で、 $T_1/T_0$  なる比は種々の電機子において多少異なる値をとるが、安全側をとって大きい値に合わせて一定とすると、 $ub_0/s$  はほぼ一定とみなされるから、上式の値は、 $k$  を定数として  $k f^{1.5} h'^3$  と近似することができる。

(3) 電機子コイルの抵抗法による温度上昇値は、連続定格、通風形について、放熱面がコイル導体幅と高さ方向の部分とからなるとして、近似的に

$$\theta_A = R W_A / \{ n_s k_{dA} L_{co} (s' + ah') \} \dots (2)$$

と仮定できる場合について考察する。ただし  $a$  と  $R$  を定数とする。

$R$  の値は、絶縁の材質、厚さ、方式や定格電圧、電流のときの鉄損と銅損との比などによって定まる係数である。

スロット内では絶縁物を通して鉄板に流れる銅損による熱流は、コイル導体と鉄板との温度差に比例して定まるから  $R$  は一般的には一定でありえない。

しかし、下記 (4) の条件を満たす一般の単一定格の直流機では、定格電圧、電流のときの鉄損と銅損との比は各大きさの電機子に対しほぼ一定であり、また絶縁物や鉄板の熱伝導率を考慮にいれて個々の電機子について計算すると、鉄板に流れる銅損の熱量は、そ

の全量の 20% 程度であることを知る。

したがって、本文で以下取り扱う設計基本式の基礎式としては、 $R$  をある程度の余裕をみて一定として (2) 式を使用しても実用上さしつかえない。

(2) 式における電機子表面からの放熱係数  $k_{dA}$  は、一般に種々の電機子直径について一律に電機子周速に対して与えられているが、これを  $\gamma$  を定数として  $k_{dA} = k_{d0} v_a^\gamma$  と近似する。たとえば、Moore 氏は開放形直流機に対して  $\gamma = 0.6$ 、 $k_{d0} = 15.5$  で表わされる標準曲線を与えている。<sup>(3)</sup>

(4) 従来の方式にならい、歯の根本の磁束密度を一定値に制限する。

(5) 直流機では整流状態のいかんは温度上昇とともに設計における主要な制限事項となる。

整流の条件を定める設計の諸因子には、整流子、ブラシ、補極、電機子巻線、スロットなどの諸関係にわたり数多くのものがあり、しかもこれらは複雑に関連し合っている。

このうち、電機子主要寸法に關係するものはだいたいリアクタンス電圧でまとめられるが、この制限値は上記の他の諸因子との複雑な関連性のため、各大きさの直流機について一律に、適確に一定値では規定されにくく、温度上昇に対するときのように一定の目標値を定めて、出力最大の条件から設計の諸基本式を導くことは困難でもあり危険でもある。

ゆえに、本稿では制限値以下の任意の数値をとると規約し、設計の基本式を求める直接の制限条件から一応除外して吟味の形で  $\lambda$  という独立因子を用い、各大きさの電機子に対してリアクタンス電圧の条件を満足させる方式をとることにする。

次に、本稿の内容を概説しこれに説明を補足すると、まず、目標とする一定の温度上昇規定値によって最大出力の条件を加えてスロット断面の寸法関係の基本式を定め、これを基礎にして歯根本の磁束密度の制限値を与えて比磁気装荷の電機子外径に対する設計基本式を定める。

次いで、界磁コイルと磁極との空間関係から、磁極ピッチと極数の基本式を定めておいて、比電気装荷の電機子外径に対する設計基本式を定める。

これらの基本式にはリアクタンス電圧による制限は直接的には考えられていない。

しかし、銅損には整流によるうず電流損が含まれていて、これを温度上昇によって制限したのであるから、間接的ではあるがリアクタンス電圧が制限されたことになっている。

そこで前記のように上の諸基本式から独立している



鉄板積厚または $\lambda$ によって最後のなりアクタンス電圧の調整をする。

しかし、一方では $\lambda$ には磁極ピッチとの比に対して経済的見地から一定の範囲の数値が望まれている。

上のリアクタンス電圧から定めた  $L_i$  がこの範囲内にあるか否かということは、電機子周速の値によって定まるから、これを満足する周速に対応する回転数なり周波数を、標準回転数ないしは標準周波数として取り扱おうとするものである。

以上リアクタンス電圧に対する場合の取り扱い方は、フラッシュオーバーにおける平均整流子片間電圧に対しても同様とする。

#### 4. スロットと歯の寸法関係

本章では、磁気装荷および電気装荷を定める基礎となるスロットと歯との諸寸法の望ましい関係式を求めらる。

毎スロットのアンペア導体数について (2) 式を用いて次の関係式がなりたつ。

$$A_s^2 \left\{ \rho \frac{L_{so}(1+kf^{1.5}h'^3)}{f_s s' h'} \right\} R \left\{ (s' + ah') L_{so} \right\} = k_{dA} \theta_A$$

ゆえに

$$A_s^2 = \frac{f_o k_{dA} \theta_A s' (s' + ah') h'}{\rho R (1 + kf^{1.5} h'^3)} \quad (3)$$

また、毎歯の磁束数は次の関係式で与えられる。

$$\phi_s = B_t k_i L_i \quad (4)$$

したがって

$$(N_i/n)^2 = (n_s A_s)^2 (\phi_n \phi_s)^2 = K^2 \frac{s' (s' + ah') h' t^2}{1 + kf^{1.5} h'^3} \quad (5)$$

ただし、

$$K^2 = n_s^4 \phi_s^2 k_i^2 f_o L^2 k_{dA} \theta_A B_t^2 / (\rho R)$$

とおいた。

一方、第1図から次の関係式が得られる。

$$(D - 2\Delta - 2h') \pi / n_s = s' + t + \varepsilon_\delta \quad (6)$$

(5), (6) 両式から  $D$ ,  $L$ ,  $n_s$ ,  $B_t$ ,  $n$ ,  $\theta_A$  を一定にして  $(N_i/n)^2$  を最大にする  $h'$ ,  $s'$  および  $t$  の関係を求めると

$$\alpha = \frac{2s' + ah'}{2(s' + ah')} = 1 - \frac{1}{2\{1 + s'/(ah')\}} \quad (7)$$

および

$$t \left\{ \frac{2ah' + s'}{2(s' + ah')} - \frac{2s' + ah'}{2(s' + ah')} k f^{1.5} h'^3 \right\} = \frac{2\pi}{n_s} h' (1 + kf^{1.5} h'^3) \quad (8)$$

の両式を得る。

(7) 式は次のようにも書きかえられる。

$$(s' + 2ah')/2(s' + ah') = 1.5 - \alpha \quad (9)$$

別に第1図によって

$$D' = D - 2\Delta - \varepsilon_\delta n_s / \pi \quad (10)$$

なる仮想の電機子直径を考えると、(6) 式から

$$t = \frac{\pi / n_s}{1 + \alpha} (D' - 2h') \quad (11)$$

が得られる。

(7), (9), (11) 式を (8) 式に代入し、 $s'$  と  $t$  とを消去して整理すると次の関係式が求まる。

$$\frac{D'}{h'} = HF \frac{1}{1 - h'/h_m'} \quad (12)$$

ただし、

$$H = 5/(1.5 - \alpha) \quad (13)$$

$$N = \sqrt[3]{\alpha/(1.5 - \alpha)} \quad (14)$$

$$h_m' = 1/(N \sqrt[3]{k f^{1.5}}) \quad (15)$$

$$F = \frac{1 + 0.4 k f^{1.5} h'^3}{1 + \sqrt[3]{\frac{\alpha}{1.5 - \alpha}} \sqrt[3]{k f^{1.5} h'}} \times \left[ 1 + \sqrt[3]{\left( \frac{\alpha}{1.5 - \alpha} \right)^2 \sqrt[3]{(k f^{1.5})^2 h'^2}} \right] = \frac{1 + 0.4 \{ (1.5 - \alpha)/\alpha \} (h'/h_m')^3}{1 + h'/h_m' + (h'/h_m')^2} \quad (16)$$

とおいた。(12) 式の名母を払い  $h'$  を  $D'$  の関数として表わすと

$$h' = h_m' D' / (HF h_m' + D') \quad (17)$$

が与えられる。(17) 式はスロット内導体高さを定める基本式である。

$h_m'$  は  $D' \rightarrow \infty$  における  $h'$  の極限値を表わしている。また  $H$  は  $k=0$  すなわちうず電流損がないときの  $D'/h'$  なる比を表わし、一定の  $\alpha$  に対し一定である。 $F$  は厳密には  $h'$  の関数で一定値とはいえない。実用範囲では、たとえば第8図のように  $h'/h_m'$  の0.4~1.0の範囲では約0.65~0.4の値をとる。しかし、(17) 式中の  $HF h_m'$  の値は実用されるすべての  $D'$  にくらべて小さいために、 $F$  の値を上記のうち  $D'$  の小さい部分に対する値をとって、これを一定とみなして計算しても、実用上充分正確な  $h'$  の値を得ることができる。

したがって  $\alpha$  と周波数  $f$  が与えられると  $HF$  と  $h_m'$  とを一定値として取り扱うことができる。しかるに以下 (27) 式で与えるように  $\alpha$  は  $f$  によって定まるから、結局  $HF$  と  $h_m'$  とは  $f$  が与えられると定まる定数として取り扱うことができる。

さきの (17) 式は与えられた周波数についてスロット内導体高さの仮想直径  $D'$  に対する関係を定める基本式であるが、これを  $D'$  の代わりに電機子外径  $D$  に対する関係式で与えると、(17) 式の  $D'$  を (10) 式でおき換え

$$h_m = h_m' / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi) \dots\dots\dots (18a)$$

$$d = (2\Delta + \varepsilon_b n_{so} / \pi) / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi) \dots\dots (18b)$$

といて、次のように求まる。

$$h' = h_m' \frac{D - d}{(D - d) + HF h_m} \dots\dots\dots (19)$$

この (19) 式が周波数を与えて、スロット内導体高さの電機子外径に対する関係を定める設計の基本式である。

次に  $f$  を与えて  $\alpha$  を算定する基本式を導く。

(7), (11), (17) の諸式を用いて

$$\frac{s'}{h'} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{0.25ah'/s'}{1 + 0.75ah'/s'} \right) \frac{\pi}{n_s h_m'} \times \{ h_m' (HF - 2) + D \} \dots\dots\dots (20)$$

が導かれる。

(7) 式からわかるように  $s'/h'$  の値は正確を要しないので、以下の諸近似式を用いて (20) 式を簡略化する。

スロット総数  $n_s$  は、スロットピッチが電機子外径とともにやや増大する傾向にあることから、 $n_{so}$ ,  $q_s$  を定数として次のように近似する。

$$n_s \approx n_{so} + q_s D \dots\dots\dots (21)$$

あるいは、(21) 式と (10) 式とを用い

$$n_{so}' = n_{so} + q_s (2\Delta + \varepsilon_b n_{so} / \pi) / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi) \dots\dots\dots (22a)$$

$$q_s' = q_s / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi) \dots\dots\dots (22b)$$

といて

$$n_s \approx n_{so}' + q_s' D \dots\dots\dots (23)$$

次に、 $(HF - 2)h_m'$  および  $n_{so}/q_s'$  は 9 章の数値例

で掲げるようにいずれも  $D'$  にくらべて小さいから  $\{ (HF - 2)h_m' + D \} / (n_{so}' / q_s' + D) \approx 1 \dots (24)$  と近似する。

また

$$e \approx 1 - 0.25 / \{ 0.75 + s' / (ah') \} \approx 1 - 0.25 / \left( 0.75 + \frac{0.45}{aq_s' h_{m1}'} \right) \dots\dots\dots (25)$$

と近似する。ただし、 $h_{m1}'$  は周波数の実用範囲における  $h_m'$  の代表値で直感によって定める定数である。

以上 (23) ~ (25) 式ならびに (14), (15) 式を用いて (20) 式は近似的に次のように簡略化される。

$$\frac{s'}{h'} \approx \frac{\pi e}{2q_s'} \sqrt[3]{kf^{1.5}} \sqrt{\frac{\alpha}{1.5 - \alpha}} \dots\dots\dots (26)$$

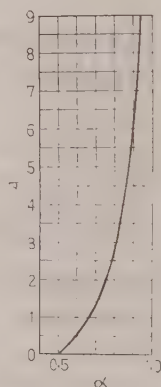
これを (7) 式に代入して次の関係式が求まる。

$$\frac{2\alpha - 1}{1 - \alpha} \sqrt[3]{\frac{1.5 - \alpha}{\alpha}} \approx \frac{\pi e}{aq_s'} \sqrt[3]{kf^{1.5}} \equiv A \dots (27)$$

これが  $f$  を与えて  $\alpha$  を定める所要の基本式である。

これを図示すると第 2 図を得る。

また、以上を取りまとめ、 $h'$  の構成因子の連結関係を図示すると第 3 図の形態図を得る。

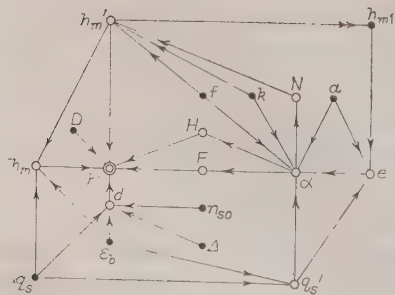


## 5. 比磁気装荷

$h'$  の基本式が上記のように求まると、これを用いて比磁気装荷の基本式が求まる。

すなわち、(11) 式の  $t$  を (4) 式に代入して  $\phi_s$  を求め、これを  $B_g' \pi D' L_i / n_s$  に等しいとおき仮想直径  $D'$  の円周上の磁束密度  $B_g'$  を求め、これを  $D'/D$  倍してこれに (10) 式の  $D'$  を代入し、(18a),

第 2 図 スロット内導体幅と歯根本幅との比を与える曲線

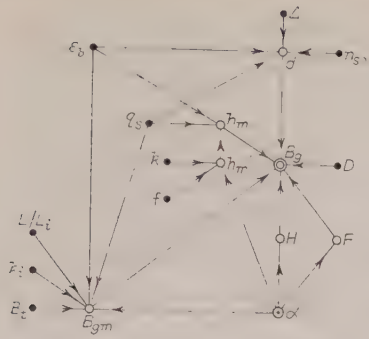


番号	経路	式番号	番号	経路	式番号
h'1	$\varepsilon_b \rightarrow q_s' \rightarrow h_m'$	22b	h'7	$\varepsilon_b \rightarrow q_s' \rightarrow h_m'$	18a
h'2	$h_m' \rightarrow q_s' \rightarrow \alpha$	25	h'8	$\alpha \rightarrow H$	13
h'3	$e \rightarrow k \rightarrow f \rightarrow \alpha$	27	h'9	$\alpha \rightarrow F$	16
h'4	$\alpha \rightarrow N$	14	h'10	$n_{so}' \rightarrow d$	18b
h'5	$N \rightarrow f \rightarrow h_m'$	15	h'11	$h_m' \rightarrow D \rightarrow H$	19
h'6	$h_m' \rightarrow h_{m1}'$	*		$h_m' \rightarrow d \rightarrow F$	

\* :  $h_m'$  で  $h_{m1}'$  を訂正

第 3 図 スロット内導体高さの構成因子の連結関係を示す形態図





番号	経路	式番号	番号	経路	式番号
B1	$n_{s0}$ $\Delta$ $q_s$	18b	B5	$\alpha \odot \rightarrow$	13
B2	$k_i$ $f$	14, 15	B6	$\alpha \odot \rightarrow$	*
B3	$\epsilon_b$ $q_s$	18a	B7	$d \odot$ $h_m \odot$ $B_{gm} \odot$ $D \odot$	29
B4	$L/L_i$ $B_t$ $\epsilon_b$	28			

\* : h<sub>f</sub>に同じ

第 4 図 比磁気装荷の構成因子の連結関係を表わす形態図

(18b) 式の関係を用い

$$B_{gm} = B_t \frac{L}{L_i} \frac{k_i}{1+\alpha} (1 - q_s \epsilon_b / \pi) \dots\dots\dots (28)$$

において、結局次の関係式が求まる。

$$B_g = B_{gm} \frac{D-d+(HF-2)h_m}{D-d+HFh_m} \frac{D-d}{D} \dots\dots (29)$$

この式が与えられた周波数に対する比磁気装荷と電機子直径との関係を表わす設計の基本式である。

なお、この比磁気装荷の構成因子の連結関係を表わす形態図を示すと第4図のようになる。

### 6. 磁極ピッチ，極数

磁極ピッチの決定にあたっては、電機子反作用の制限を考慮にいれなければならないが、界磁コイルをいれる空間によって明らかに規定することができる。

いま、第5図に示すような主界磁コイルの断面積に等価な  $b_f \times h_f$  なる方形断面を考えて

$$\psi_x \tau = b_p + 2b_f \dots\dots\dots (30)$$

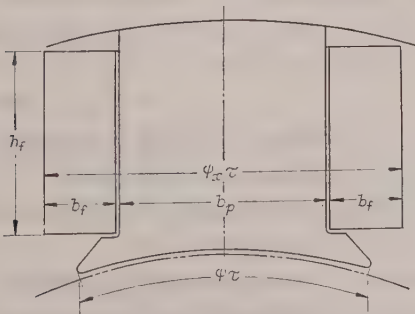
となる等価な  $\psi_x$  を定めておく。この式で

$$b_p = \sigma_\phi \psi_x B_g L_i / (k_p B_p L_p) \dots\dots\dots (31)$$

で表わされるから、(29) 式の  $B_g$  を代入し

$$\gamma_p = \sigma_\phi \psi B_{gm} L_i / (k_p B_p L_p) \dots\dots\dots (32)$$

とすると



第 5 図 主磁極断面記号の説明図

$$b_p = \gamma_p \tau \frac{D-d+(HF-2)h_m}{D-d+HFh_m} \frac{D-d}{D} \dots (33)$$

を得る。

ゆえに、 $D \rightarrow \infty$  のときの  $\tau$  と  $b_p$  の極限値を  $\tau_m$ 、 $b_{pm}$  とおくと、この式から  $\gamma_p = b_{pm} / \tau_m$  とおいたことになる。

主界磁コイル幅  $b_f$  は経済的条件からは  $b_f \approx h_f$  が有利であるが、これでは一般にコイル内部の温度上昇が部分的に過大となるから、さらに  $b_f$  を制限しなければならない。この制限値はすべての方形スロットの電機子の界磁コイルについては一定とすることができ

る。ゆえに、(33) 式を (30) 式に代入して

$$\tau = \frac{2b_f}{\psi_x - \gamma_p} \left\{ 1 + \frac{\gamma_p}{\psi_x - \gamma_p} \frac{2h_m + d}{D - d + HFh_m} + \frac{\gamma_p}{\psi_x - \gamma_p} \frac{d}{D} \frac{(HF-2)h_m - d}{D - d + HFh_m} \right\} \dots\dots (34)$$

の関係式を得る。

この式の右辺分母の第3項は他の2項の和にくらべて無視しうる程度に小さいから、次の近似式で置き換えることができる。

$$\tau \approx \tau_m \left\{ 1 / \left( 1 + \frac{2h_m + d}{D - d + HFh_m} \right) \right\}^\mu \dots\dots (35)$$

ただし、

$$\mu = \gamma_p / (\psi_x - \gamma_p) = \gamma_p \tau_m / 2b_f \dots\dots\dots (36)$$

すなわち、 $\mu$  は  $D \rightarrow \infty$  における主磁極鉄心幅の極限値と界磁コイル両側の幅との比を表わす定数である。

なお、(34) 式から  $\tau_m = 2b_f / (\psi_x - \gamma_p)$  となる。

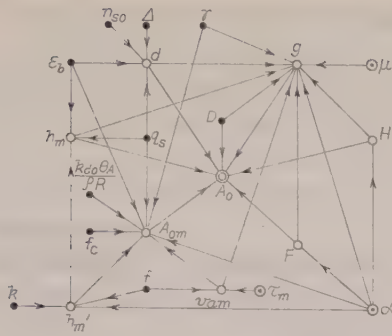
(35) 式が種々の周波数に対する磁極ピッチと電機子外径との関係を表わす設計の基本式である。

したがって、極数および電機子周速を与える基本式はそれぞれ次のように表わされる。

$$2p = \frac{\pi D}{\tau} = \frac{\pi D}{\tau_m} \left( 1 + \frac{2h_m + d}{D - d + HFh_m} \right)^\mu \dots (37)$$







第 7 図 比電気装荷の構成因子の連結関係を示す形態図

ter 氏ら<sup>(4)</sup>が与えるような、電流密度×比電気装荷の値が用いられている。本文でもこの数値を重視するものであるが、これについて一言する。

$\sigma_a$  を電機子コイルの平均電流密度,  $\tau_{s1}$  を電機子外周におけるスロットピッチとすると, (40), (44)両式から

$$\sigma_a A_o = \frac{\theta_A k_{do} v_{am} \gamma}{2(2\alpha - 1) \rho R} \frac{s'}{\tau_{s1}} g^2 \dots \dots \dots (48)$$

が与えられる。 $\alpha$  と  $v_{am}$  とは周波数が与えられると定まる定数であり、 $g$ ,  $s'/\tau_{s1}$  もほぼ一定に近いから周波数が割合いに狭い範囲に規定されている標準の電機子に対しては、 $\sigma_a A_o$  は割合いに狭い開きをもつ数値をとる。

## 8. 整流子片間電圧およびリアクタンス電圧による吟味

(29)式から求まる比磁気装荷は、高い電圧のときフラッシュオーバーから定まる整流子片間電圧の制限値によって、また(47)式から求まる比電気装荷は火花整流から定まるリアクタンス電圧の制限値によって吟味されなければならない。

これらを取り扱うときの問題点については、3章(5)以下において述べた。

ここでは、下記 (49), (50) 両式によって平均整流子片間電圧や平均リアクタンス電圧を与え、以上導いた諸基本式を用いて平均整流子片間電圧やリアクタンス電圧の関係式を求め、それらの値を鉄板積厚によって補償することを述べる。

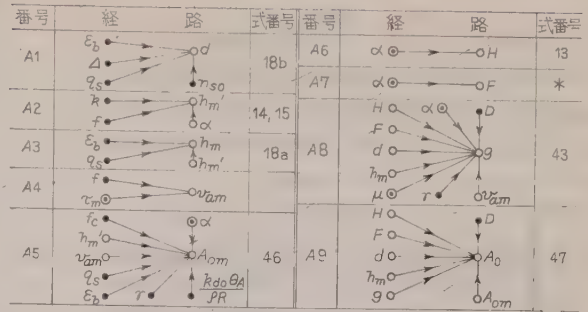
$w$  巻回の一つの電機子コイルの極弧下における無負荷整流子片間平均電圧は

$$e_0 = 2B_0 \omega L_i v_i (= 4B_0 \omega \lambda \tau^2 f) \dots\dots\dots (49)$$

で与えられ、リアクタンス電圧は

$$e_r = 2\zeta A_0 w L_i v_a \dots\dots\dots (50)$$

で与えられる。ただし、 $\xi$  は平均単位パーミヤンスを表わす。(49) 式に (29) 式の  $B_0$  と (35) 式の  $\tau$  と



\* : 79と同じ

を代入し, かつ  $E_{om} = 4\omega\lambda\tau_m^2 B_{gm} f$  とおくと

$$e_o = E_{om} \frac{\{D-d+(HF-2)h_m\}(D-d)}{\{D-d+(HF+2)h_m\}^{2\mu*}} + \frac{HFh_m^{2\mu-1}}{*} (D-d)/D \dots\dots\dots (51)$$

を得る。これが種々の周波数に対する整流子片間電圧と電機子直径との関係を与える設計の基本式である。

リアクタンス電圧についても同様にして、与えられた周波数に対して電機子外径との関係式を求めることができる。

しかし、整流子片間電圧を知ってリアクタンス電圧を予測する方法がより実用的と考えられるので、以下これについて述べる。

(50) 式を (49) 式で辺々相除して (29) 式の  $B_0$  と (47) 式の  $A_0$  とを代入して整理すると

$$\frac{e_r}{e_0} = \frac{\zeta A_{om}}{B_{gm}} \sqrt{1 / \left( 1 + \frac{HFh_m}{D-d} \right)} g \quad \dots\dots\dots (52)$$

の関係式が成立する。リアクタンス電圧を問題とするのは普通中形以上に多いので、この  $D$  を考えて  $d$  と  $HFh_m$  とを無視し、かつ  $g \approx 1$  とおくと

$$e_r \simeq \zeta (A_{om}/B_{gm}) e_o \dots\dots\dots (53)$$

と安全側に近似することができる。

周波数が与えられると、主として電機子コイル温度上昇の設計規定値と歯根本の許容磁束密度の規定から、 $A_{om}$ ,  $B_{gm}$  はそれぞれ (46) 式と (28) 式とによって一定値として定まる。ゆえに、(50) 式の  $\xi$  が適当な値に仮定できれば、整流子片間電圧を計算すると、直ちにリアクタンス電圧の大略値を予測することができる。

(52)式や(53)式からわかるように一定の $w$ に対して、整流子片間電圧が低ければリアクタンス電圧も低いわけである。そして $e_o$ や $e_r$ が制限値をこすときこれを補償する一つの方法は、(51)式における $E_{om}$ の関係式からわかるように、 $\lambda$ すなわち $L_i$ を減ずることである。

## 9. 数 値 例

本章では、数値例によって上記の諸基本式を用いて具体的な設計の諸標準曲線を示し、Richter や Liwshchitz 氏らによって提示された設計の標準曲線と比較的によく一致することを示そうとする。

ただし、ここに掲げる標準曲線がそのまま広く一般に設計の標準となることを必ずしも期待するものではない。設計の実際にあたっては、所与の条件や使用材料の性質や加工法などに則した基礎数値（特に放熱係数関係の定数）によって作られた標準曲線を用いなければならないことを付記しておく。

(9.1) 基礎数値 一つのスロット内の導体正味幅の  $s'$  に対する比を 0.85, また,  $s'/s=0.75$ ,  $\lambda'=2$ ,  $T_1/T_0=10$  とおくと 3 章 (2) 項で述べた Richter 氏の近似式によって

$$\sqrt[3]{kf^{1.5}} = 0.36\sqrt{f/10^2}$$

が与えられる。

また,  $a=0.3$ ,  $q_s'=1.2$  が与えられるとして, 最初  $h_{m1}=4$  cm を仮定して 4 章の各関係式を使用して, 一般直流機の種々の周波数に対する諸数値を計算すると, 第 1 表 I の数値が求まる。さらにスロット数を定める定数  $n_{so}'=8.3$ , スロット絶縁幅  $\varepsilon_b=2$  mm が規定されるとすると, (18a) 式を用いて第 1 表 II の数表が求まる。

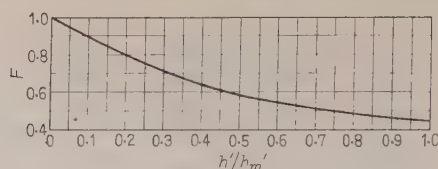
第 1 表 設計因子の数値表

番号	$f$ (c/s)	30	40	50	60	式番号
I	$\sqrt[3]{kf^{1.5}} (\text{cm}^{-1})$	0.20	0.23	0.26	0.28	
	$A$	1.47	1.70	1.90	2.08	
	$\alpha$	0.70	0.72	0.74	0.75	(27)
	$H$	6.27	6.42	6.58	6.68	(13)
	$N$	0.96	0.97	0.99	1.00	(14)
	$h_m'$ (cm)	5.30	4.51	3.96	3.59	(15)
II	$h_m$ (cm)	5.69	4.84	4.26	3.85	(18a)
III	$HF$	3.57	3.66	3.75	3.81	
IV	$v_{am}$ (m/s)	36	48	60	72	
V	$B_{gm}$ (Wb/m <sup>2</sup> )	1.10	1.09	1.07	1.07	(29)
VI	$A_{om}$ (A/cm)	456	446	434	431	(46)

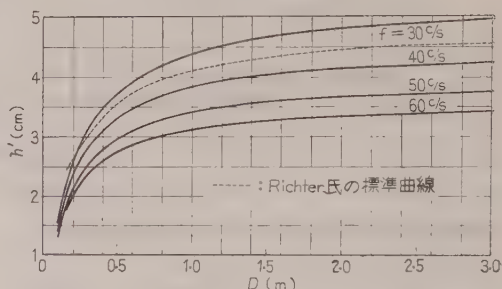
さらに,  $\Delta=6$  mm が規定されるとして (18b) 式を用いて  $d=1.7$  cm が求まる。

次に, (16) 式は 30~60 c/s に対し, 第 1 表 I の諸数値を用いるとおよそ第 8 図の曲線となるゆえ, 2 章で述べた理由によって  $F=0.57$  として第 1 表 III の数表を得る。

そこで,  $d=1.7$  cm 第 1 表 I の  $h_m'$  と II の  $h_m$ , III の  $HF$  の諸数値を (19) 式の基本式に代入し, 各周波数に対する  $h'$  と  $D$  との関係を表わす標準曲線を描



第 8 図  $F$  曲線



第 9 図 スロット内導体高さの設計標準曲線と第 9 図を得る。

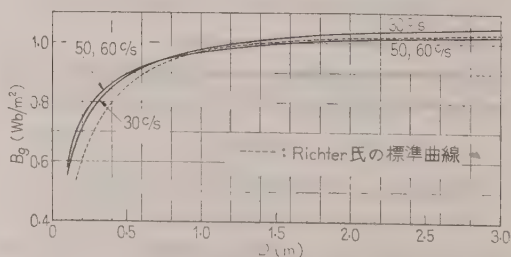
なお, Liwshchitz 氏が定めたスロット高さ ( $h=h'+\Delta$ ) と電機子外径  $D$  との関係を示す標準曲線を同図に併記したが, <sup>(5)</sup>  $\Delta=5\sim 8$  mm と考えると, この  $h$  曲線に対する  $h'$  曲線は計算された  $h'$  曲線と 50 c/s でだいたい一致することを知る。

(9.2) 比磁気装荷の設計標準 さらに, 基礎因子の数値として  $k_i=0.9$ ,  $L/L_i=0.95$ ,  $B_t=2.35$  Wb/m<sup>2</sup> と定める。

また  $1-q_s\varepsilon_b/\pi \approx 0.93$  と定まるから, 第 1 表 I の  $\alpha$  の数値とともに (28) 式に代入して, 各周波数ごとに  $B_{gm}$  の値を算定すると第 1 表 V の数表を得る。

そこで, 第 1 表の諸数値と (9.1) 節で求めた  $d=1.7$  cm とを基本式 (29) 式に代入して各周波数に対する比磁気装荷  $B_g$  と電機子外径  $D$  との関係を表わす標準曲線を描くと, 第 10 図に示したように 30~60 c/s の周波数の範囲で非常に接近する曲線となり,  $f=50$  c/s のもので代表させても実用上さしつかえないことを知る。

同図中に Richter 氏が与えた  $B_g$  の標準曲線を併記した。<sup>(6)</sup> これは計算によって求めた標準曲線にくらべ



第 10 図 比磁気装荷標準曲線



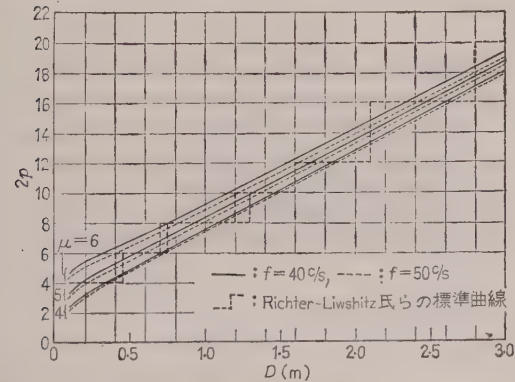
て  $D$  の小さい部分でいくぶん小さくなっているが、励磁アンペア回数と鉄心の温度上昇との関係から  $B_t$  を低目にとったためではないと思われる。しかし、界磁コイルにエナメル線などを用い、主磁極ギャップを充分小さくとり、また、鉄心内の通風方式の改善された今日の製作技術においては、このことは考慮する必要はないと思う。

(9.3) 極数の標準 以上掲げた諸基礎数値のほか、新しく  $B_p=1.45 \text{ Wb/m}^2$ ,  $k_p=0.95$ ,  $\psi=0.67$ ,  $\sigma_\phi=1.2$ ,  $\tau_m=0.6 \text{ m}$ ,  $b_f=4 \text{ cm}$ ,  $L_i/L_p \approx 1$  とする。

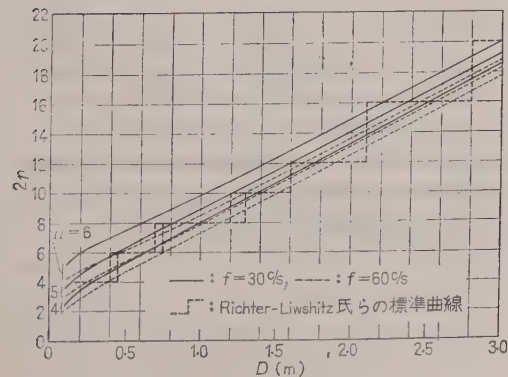
すると (32) 式から  $\gamma_p=0.62$  を得、また (36) 式から  $\mu=4.65$  となるので  $\mu=5$  を代表値とすることができる。

そこで、(37) 式中の諸因子に、以上定めた基礎因子の諸数値と第 1 表の諸数値を代入し、各周波数別に  $\mu=4, 5, 6$  について  $2p$  を定める標準曲線を描くと第 11 図および第 12 図を得る。

同図に併記した階段形の折線は Richter 氏および Liwshitz 氏が与えた標準曲線である。<sup>(7)(8)</sup> だいたいにおいて求めた標準曲線に一致していることがわか



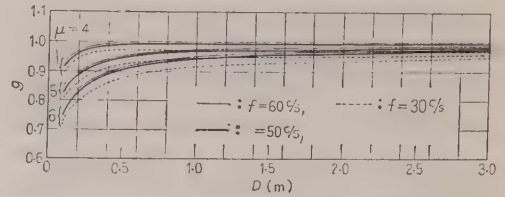
第 11 図 極数標準曲線



第 12 図 極数標準曲線

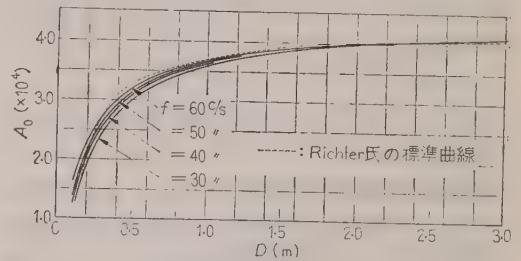
る。

(9.4) 比電気装荷の標準 同様に各因子の数値を (47) 式に代入し、種々の周波数  $f$  と  $\mu$  について  $g$  を計算し作図したものが第 13 図である。 $\mu$  の小なるほど 1 に近いことがわかる。ただし  $\gamma=0.6$  とおいた。

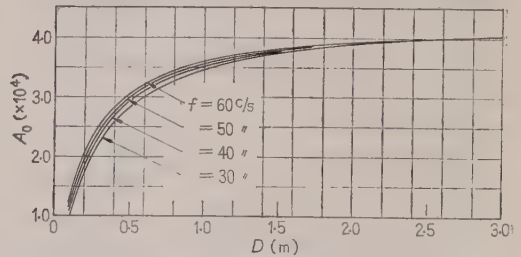


第 13 図 補正係数  $g$  の標準曲線

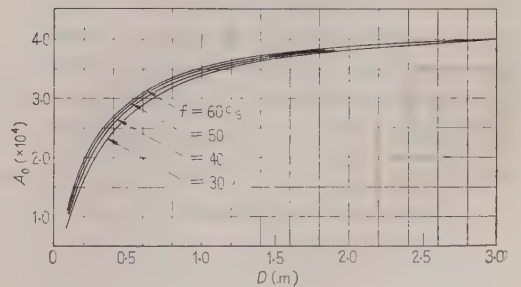
さらに、 $k_{do}=15.5 \text{ W s}^{0.6}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $f_c=0.9$ ,  $\theta_A=70^\circ\text{C}$ ,  $a=0.3$ ,  $R=1.85$ ,  $\rho=2.1 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$  が定められたとして、第 1 表の  $\alpha$  と  $h_m'$  の諸数値を併せ用いて (46) 式から  $A_{om}$  を算定すると第 1 表 VI の数表を



第 14 図 比電気装荷標準曲線 ( $\mu=4$  の場合)



第 15 図 比電気装荷標準曲線 ( $\mu=5$  の場合)



第 16 図 比電気装荷標準曲線 ( $\mu=6$  の場合)

得る。

そこで (47) 式に以上定めた諸因子の数値を代入し、 $\mu=4, 5, 6$  別に種々の周波数  $f$  に対する比電気装荷  $A_0$  と電機子外径  $D$  との関係を表わす設計の標準曲線を描くと、第 14 図、第 15 図および第 16 図を得る。

そして  $\mu=4$  に対する第 14 図に Richter 氏が与えた比電気装荷の標準曲線<sup>(5)</sup>を描くと、ほぼ  $f=50 \sim 60$  c/s の算定した標準曲線に一致することを知る。

終わりに、(43) 式で与えられる  $\gamma A_0$  の数値については  $s'/\tau_{s1} \approx 0.5$  として  $f=30 \sim 60$  c/s の間で、

$$\sigma_a A_0 = (1, 200 \sim 1, 800) g^2 \text{ (A}^2/\text{cm mm}^2\text{)}$$

の数値を得る。

(9.5) 整流子片間電圧とリアクタンス電圧 整流子片間電圧は設計の比較的初期に算定されるから (53) 式の近似式によってリアクタンス電圧を予測することができて便利である。次にその数値例を求めておく。

(53) 式に、 $\xi=5 \times 10^{-6}$ ,  $g \approx 1$  また第 1 表の  $f=50$  c/s に対する  $B_{gm}=1.07$  Wb/m<sup>2</sup>,  $A_{om}=4.34 \times 10^4$  A/m とおいて

$$e_r \approx 0.2e_0$$

となる。たとえば、 $e_0=35$  V の制限値に対しては  $e_r \approx 7$  V となる。

整流子片間電圧の標準式は (49) 式によって算定される。これは整流子片間電圧またはリアクタンス電圧の制限値によって鉄板積厚を限定し、ひいては  $f=30 \sim 60$  c/s が標準周波数となることをためすために有用であるが、詳細は冗長をさけるために省略する。

## 10. むすびおよび謝辞

以上、方形スロットの直流機の連続定格、通風形のものに対する設計基礎因子を  $a, R, B_t, B_p, f_0, k, \gamma, k_{do}, k_i, k_p, n_{so}, q_s, \Delta, \varepsilon_b, \theta_A, \rho, \phi, \phi_x$  (または  $\tau_m$ ) などとし、設計過程における主要因子である比磁気装荷と比電気装荷について、その諸構成基礎因子の連結関係を重視して、設計の基本式とこれを数値化した標準曲線とを求めた。

そして構成因子の連結関係を表わすのに形態図を用いることを試みた。

ここに特記すべきは  $B_g, A_0$ , スロット内導体高さ  $h'$ , 磁極ピッチ  $\tau$  などの基本式において、 $D \rightarrow \infty$  における極限值である  $B_{gm}, A_{om}, h_m', \tau_m$  などがそれら基本式の  $D$  に対する傾向を左右する主要な因子となることである。

なお、引き続き出力方程式について考察すべきであるが後報にゆずることとする。

最後に本文の研究にあたっては、京大、林千博教授のご指導にあずかったことを付記し、深く謝意を表わす。(昭和 35 年 12 月 5 日受付, 同 36 年 2 月 23 日再受付)

## 文 献

- (1) Mason: MIT Report 153 (1953)
- (2) Richter: Elek. Masch. I, 254 (1924)
- (3) Moore: Fundamentals of Elec. Design p. 320 (1927)
- (4) Richter: Elek. Masch. I, 140 (1924)
- (5) Liwshitz: Die Elek. Masch. III, 285 (1934)
- (6) Richter: Elek. Masch. I, 548 (1924)
- (7) Richter: Elek. Masch. I, 545 (1924)
- (8) Liwshitz: Die Elek. Masch. III, 284 (1934)



UDC 621.313.2.04

## 直 流 機 設 計 に お け る 出 力 方 程 式 と 設 計 法 \*

資料・論文  
36-120

正 員 岡 次 雄 †

## 1. ま え が き

直流機設計の出発点で、電機子外径  $D$  とギャップ磁束断面の有効軸長  $L_i$  とを定めるために用いるいわゆる出力方程式には、いろいろの形の経験式が与えられている。これらは  $N_i$  を電機の発生出力、 $n$  を単位時間ごとの回転数、 $\phi$  を極弧率としたときの

$$N_i/n = \phi \pi^2 A_o B_g D^2 L_i \dots\dots\dots (1)$$

なる関係式から比磁気装荷  $B_g$  と比電気装荷  $A_o$  とを  $D$ ,  $L_i$ ,  $N_i/n$  などの関数として規定することによって導かれる。

従来、与えられているものについていえば、

(1)  $A_o B_g \propto D^{m''}$  と定めると、 $N_i/n \propto D^{m'} L_i$  ( $m''$ ,  $m'$  は定数) なる出力方程式が得られ、

(2)  $A_o B_g \propto L_i^{n''}$  と定めると、 $N_i/n \propto D^2 L_i^{n'} (n'', n' \text{ は定数})$  なる出力方程式が得られ、

(3)  $A_o B_g \propto (N_i/n)^q$  と定めると  $N_i/n \propto D^{2/(1-q)} \times L_i^{1/(1-q)}$  ( $q$  は定数) なる出力方程式が得られる。また、

(4)  $A_o B_g \propto (1-a/D)^3$  と定めると、 $\lambda = L_i/(\pi D/2p)$  を併用して、 $\sqrt[3]{(N_i/n) 2p/\lambda \propto D-a}$  ( $a$  は定数、 $p$  は磁極対数) なる Richter 氏が与えた出力方程式<sup>(1)</sup> の一般形が得られる。

したがって、いずれの出力方程式を利用するにしても、同時に、設計過程で使用する  $A_o$  や  $B_g$  と直接関連させなければならない。

さらに、諸定数が過去の製作例によって統計的に定められた純経験的な出力方程式だけでは、加工技術や使用材料の性質などの進歩改良に応じてその定数を変えて設計を改善することが困難である。

ゆえに、提示された出力方程式を活用するためには、まず設計過程に用いる主要な設計因子、特に比磁気装荷や比電気装荷を構成する加工技術や使用材料の物理的性質を表わす諸構成基礎因子とその連結関係を知り、次にこの構成因子の出力方程式における連結関係を明らかにしておくことが必要である。いいかえれば、その出力方程式における諸定数の解釈を与えてお

くことが必要である。

筆者はさきに、方形スロットをもつ電機子の直流機に対する比磁気装荷や比電気装荷などの設計の諸因子の理論式について述べ、それらの構成基礎因子とその連結関係を示した。<sup>(2)</sup>

本文は、これら設計の基本式によってその構成因子を用い、直流機設計における出力方程式の理論的な基本式を導き、上の (2) と (4) の形の出力方程式に解釈を与えさらに合理化と実用化の立場から (4) を変形した出力方程式を提示し、これを用いる場合の設計法を述べようとするものである。

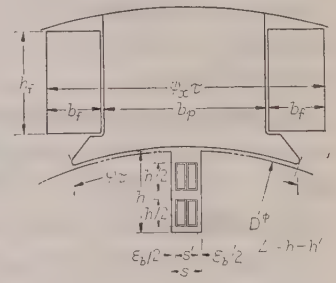
この場合の直流機は、方形スロットの電機子をもつ連続定格、通風形のものに限定した。

なお、各因子の連結関係あるいは構造を表わすのに形態図を用いることにした。

## 2. 記 号 の 説 明

第1図はスロット関係および主界磁関係の記号を説明した図である。

その他の主要記号については次のように定める。 $B_p$ : 主磁極の許容磁束密度、 $B_t$ : 歯根本の許容最大磁束密度の見掛け値、 $b_o$ : 電機子



第1図 スロットおよび主界磁関係寸法説明

導体の正味幅、 $E$ : 電機子の起電力、 $e_o$ : 主磁極弧下における無負荷平均整流子片間電圧、 $e_r$ : 平均リアクタンス電圧、 $f$ : 周波数、 $f_o$ : 電機子導体幅の導体絶縁を含んだ導体幅に対する比、 $h_o$ : 電機子導体正味高さ、 $I_a$ : 電機子全電流、 $I_1$ : 電機子巻線毎回路の電流、 $k_{aA}$ : 電機子表面からの放熱係数、 $k_t$ : 電機子鉄板積重ね率、 $k_p$ : 主磁極鉄板積重ね率、 $L$ : 電機子鉄板積厚さ、 $L_i$ : ギャップ磁束断面の軸方向の有効長さ、 $L_p$ : 主磁極鉄心軸長、 $n_{kp}$ : 毎極整流子片数、 $n_s$ : スロット総数、 $n_{sp}$ : 毎極スロット数、 $p$ : 磁極対数、 $u$ : 電機子導体の1スロット内のならび数、 $v_a$ : 電機子周

\* On Output Equation and Process of DC Machine Design. By T. OKA, Member (Faculty of Engineering, Yamaguchi University).

† 山口大学工学部電気工学科、電気機器担当

速,  $W_A$ : 電機子巻線全損,  $w$ : 毎電機子 コイル巻回数,  $Z$ : 電機子導体総数,  $Z_p$ : 毎極電機子導体数,  $\alpha$ : スロット 内導体幅と 齒根本の幅との比,  $\theta_A$ : 抵抗法による電機子コイルの設計規定温度上昇値,  $\tau$ : 磁極ピッチ,  $\lambda$ :  $L_i$  の  $\tau$  に対する比,  $\sigma_a$ : 電機子コイルの電流密度,  $\sigma_\phi$ : 主磁束漏れ係数,  $\phi$ : 毎極磁束数,  $\rho$ : 導体の固有抵抗,  $\zeta$ : 電機子コイル平均パーミヤンス

また, 形態図における記号を次のように定める。

—印は前提から結論の方向を示し, —>印は結果によって前提を訂正するときの方向を示す。因子の記号は一般に○印で表わし, 特に定格電圧, 電流などあるいは固有抵抗, 齒根本の規定磁束密度などのような与えられた基礎因子は●印を, また特に最後の結論を表わす因子を明示するときには◎印を用いる。なお, また基礎因子との連結関係がすでに明らかにされたものについては一部または全部の連結を省略して特に◎印の因子記号を用いることがある。

その他の 記号については本文中でそのつど説明する。

### 3. 基 礎 式

本稿における出力方程式に関係する主要基礎式は, さき<sup>(2)</sup>に求めた  $\alpha, h', \tau, p, B_g, A_o$  の諸設計基本式である。次にこれらを概説しておく。

電機子コイルの導体損は整流によるうず電流損をも併わせ考えて,  $k$  を定数としてオーム 損の  $(1+kf^{1.5} \times h'^3)$  倍と近似する。

また, 電機子コイルの放熱面積は  $a$  を定数として,  $(s'+ah')$  に比例するとし, さらに  $R$  を定数,  $L_{co}$  を電機子コイルごと半巻回の平均長さとして

$$\theta_A = RW_A / \{n_s k_{dA} L_{co} (s' + ah')\}$$

そして,  $k_{dA}, \gamma$  を定数として  $k_{dA} = k_{dA} v_a^\gamma$  で与えられるとする。

そしてこの  $\theta_A$  の一定目標値に対して,  $D, L, n_s, n, B_t$  一定のもとで最大出力を与える  $\alpha$  と  $h'$  は近似的に次の (2), (3) の両式で表わされる。

$$\frac{2\alpha - 1}{1 - \alpha} \sqrt{\frac{1.5 - \alpha}{\alpha}} = \frac{\pi e}{a q_s'} \sqrt[3]{k f^{1.5}} \dots \dots (2)$$

ただし,  $n_s = n_{s0} + q_s D$  で与えられるとし,  $q_s' = q_s / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi)$  とおいた。また  $h_{m1}'$  を下記  $h_{m1}'$  について適当に仮定した代表値として

$$e = 1 - 0.25 / \{0.75 + 0.45 \pi / (a q_s' h_{m1}')\}$$

を表わすものとする。

$$h' = h_{m1}' (D - d) / (HF h_{m1}' + D - d) \dots \dots (3)$$

ただし,  $H = 5 / (1.5 - \alpha)$ ,  $F$ : 定数

$$N = \sqrt[3]{\alpha / (1.5 - \alpha)}, \quad h_{m1}' = 1 / (N \sqrt[3]{k f^{1.5}}),$$

$$h_m = h_{m1}' / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi)$$

$$d = (2\Delta + \varepsilon_b n_{s0} / \pi) / (1 - q_s \varepsilon_b / \pi)$$

とおいた。

$\alpha$  は (2) 式から  $f$  を与えると定まる。したがって (3) 式から種々の  $f$  に対する  $h'$  対  $D$  の設計標準曲線が描かれる。

すると  $B_t$  を一定値に限定して次の比磁気装荷の基本式が求まる。

$$B_g = B_{gm} \frac{D - d + (HF - 2) h_m}{D - d + HF h_m} \frac{D - d}{D} \dots \dots (4)$$

ただし,

$$B_{gm} = B_t (L / L_i) \{k_i / (1 + \alpha)\} (1 - q_s \varepsilon_b / \pi)$$

とおいた。

ここで,  $B_p$  と  $b_f$  とを一定に限定すると磁極ピッチと極数の基本式が次の (5), (6) 式のように求まる。

$$\tau = \tau_m \left\{ 1 / \left( 1 + \frac{2 h_m + d}{D - d + HF h_m} \right)^\mu \right\} \dots \dots (5)$$

$$2p = \frac{\pi D}{\tau_m} \left( 1 + \frac{2 h_m + d}{D - d + HF h_m} \right)^\mu \dots \dots (6)$$

ただし,

$$\tau_m = 2 b_f / (\psi_x - \gamma_p), \quad \mu = \gamma_p / (\psi_x - \gamma_p)$$

および

$$\gamma_p = \sigma_\phi \psi B_{gm} L_i / (k_p B_p L_p)$$

とおいた。

そこで比電気装荷の基本式が次式のように決定する。

$$A_o = A_{om} g \left\{ (D - d) / (D - d + HF h_m) \right\}^{1.5} \times \{D - d + (HF - 2) h_m\} / D \dots \dots (7)$$

ただし,  $v_{am} = 2 f \tau_m$ ,

$$A_{om} = \frac{(1 - q_s \varepsilon_b / \pi) \alpha}{1 + \alpha} \sqrt[3]{\frac{f \sigma_A k_{dA} v_{am}^\gamma}{\rho R 2 (2\alpha - 1)} h_{m1}'}$$

また,

$$g = \frac{\sqrt{2} \left( 1 + \frac{2 h_m + D}{D - d + HF h_m} \right)^{\gamma \mu / 2}}{\left[ 1 + 1 / \left( 1 + \frac{HF h_m}{D - d} \right)^3 N^3 \right]^{1/2}} \dots \dots (8)$$

で与えられる。

以上主要基礎式を概説した。

これらは, 電機子コイル温度上昇の一定目標値に対して定められたものである。

しかし, 直流機設計の要件は温度上昇と整流であり, またフラッシュオーバを考えなければならない場合もある。



このうち、整流に対しては部分設計において周到に考慮すべきものであるが、電機子主要寸法に対しては下記 (9) 式の近似式により、平均リアクタンス電圧を一定制限値以下にとることとする。

$$e_r = 2\zeta A_o \omega L_i v_a \dots\dots\dots (9)$$

スロット寸法関係  $\alpha$ ,  $h'$  は元来温度上昇目標値によって定めたのであるが、導体損には整流によるうず電流損も加えられているので、(9) 式の  $\zeta$  を制限する考慮が含まれている。しかし  $e_r$  を最終的に制限するのは鉄板積厚であり  $L_i$  であるとなることが出来る。

しかし、一方  $L_i$  には経済的立場から  $\tau$  に対して一定の範囲内の数値をとることが望まれている。

標準直流機では、この両方の条件から  $v_a$  または  $f$  に対する標準値としての範囲が定まる。

フラッシュオーバに対しては平均整流子片間電圧を考え次の (10) 式を用いる。

$$e_o = 2 B_g \omega L_i v_a \dots\dots\dots (10)$$

(9) と (10) の両式は双対的になっていて、 $e_o$  もやはり  $L_i$  によって制限値内に調整することができる。

そして  $A_o$ ,  $B_g$  に (4), (7) の両式を用いれば

$$e_r/e_o \approx \zeta A_{om}/B_{gm}$$

となって  $f$  一定の設計ではほぼ一定の値をとり、 $e_o$  を知ると  $e_r$  が予見できる式となる。

以上で本稿における基礎概念の説明は終った。

そこで (1) 式の  $B_g$ ,  $A_o$  に (4), (7) 式を代入して

$$\frac{N_i}{n} = \pi^2 \phi B_{gm} A_{om} \left( \frac{D-d}{D-d+HFh_m} \right)^{2.5} \times \{ [D-d+(HF-2)h_m]/D \}^2 g D^2 L_i \dots\dots\dots (11)$$

を得る。これが本稿における各出力方程式に対する原式である。

さらに電機子外径  $D$  を決定するために、

$$L_i = \lambda \tau \text{ または } L_i = \lambda \pi D / (2p) \dots\dots (12a, b)$$

の関係式と  $\tau$ ,  $2p$  を与える (5), (6) 式が必要である。そして (11) 式と (12b) 式とから極数  $2p$  を含む Richter 氏の出力方程式が近似的に導かれ、(11) 式と (12a), (5) の各式を用いて極数  $2p$  を含まない出力方程式が導かれる。

#### 4. 極数 $2p$ を含む出力方程式

(11) 式と (12b) 式とから

$$\frac{N_i}{n} \frac{p}{\lambda} = \frac{\pi^3}{2} \phi B_{gm} A_{om} \times \frac{[1+\{(HF-2)h_m-d\}/D]^2}{[1+HFh_m/(D-d)]^{2.5}} g D^3 \dots\dots (13)$$

を得る。これが  $2p$  を含む出力方程式の原式である。  
いま

$$F\left(\frac{h_m}{D}\right) = \frac{[1+\{(HF-2)h_m-d\}/D]^{2/3}}{[1+HFh_m/(D-d)]^{2.5/3}} \dots\dots (14)$$

とおくに、 $HFh_m/(D-d)$  は 1 にくらべて小さいために、 $F(h_m/D)$  は  $h_m/D$  に関して線形に近い。

よって  $a_x$  を  $h_m/D$  の任意の一定値として

$$F(h_m/D) \approx \{F(a_x) - a_x F'(a_x)\} + (h_m/D) F'(a_x) \dots\dots\dots (15)$$

と近似できる。

ゆえに、(13)~(15) の諸式から

$$D \approx c_s + K_{sr} \sqrt[3]{(N_i/n)(p/\lambda)} \dots\dots\dots (16)$$

の関係式が求まる。

$$c_s = -F'(a_x) h_m / \{F(a_x) - a_x F'(a_x)\}$$

$$K_{sr} = \sqrt[3]{2 / [\pi \sqrt[3]{\phi B_{gm} A_{om} g} \times \{F(a_x) - a_x F'(a_x)\}]}$$

とおいた。(16) 式があらかじめ極数がわかっているとき、 $\lambda$  を適当に仮定して  $D$  を決定する出力方程式の基本式である。数値例をあげるにあたって、本文で用いる各因子の諸数値を定めておく。

まず、基礎因子の数値を次のように定める。

$a=0.3$ ,  $B_p=1.45 \text{ Wb/m}^2$ ,  $B_t=2.35 \text{ Wb/m}^2$ ,  $b_f=4 \text{ cm}$ ,  $F \approx 0.57$ ,  $f_o=0.9$ ,  $\sqrt[3]{k}=0.036$ ,  $k_{do}=15.5 \text{ W s}^{0.6}/^\circ\text{C m}^{2.6}$ ,  $k_i=0.9$ ,  $k_p=0.95$ ,  $L/L_i \approx 0.95$ ,  $L_i/L_p \approx 1$ ,  $n_{so}=6$ ,  $q_s=1.1/\text{cm}$ ,  $R=1.85$ 。

$\gamma=0.6$ ,  $\Delta=0.6 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon_b=0.2 \text{ cm}$ ,  $\theta_A=70^\circ\text{C}$ ,  $\rho=2.1 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ,  $\sigma_\phi=1.2$ ,  $\tau_m=0.6 \text{ m}$ ,  $\psi=0.67$  すると、 $d=1.7 \text{ cm}$ ,  $q_s'=1.2/\text{cm}$  および各電機子周波数  $f$  に対して第 1 表の諸数値が定まる。

第 1 表

$f$ (c/s)	30	40	50	60
$\alpha$	0.70	0.72	0.74	0.75
$HF$	3.57	3.66	3.75	3.81
$h_m'$ (cm)	5.30	4.51	3.96	3.59
$h_m$ (cm)	5.69	4.84	4.26	3.85
$v_{gm}$ (m/s)	36	48	60	72
$B_{gm}$ (Wb/m <sup>2</sup> )	1.10	1.09	1.07	1.07
$A_{om}$ (A/cm)	456	446	434	431

なお、 $\mu$  については 4, 5, 6 について考察することにする。

以上の諸数値を用い、第 1 表については  $f=50 \text{ c/s}$  のものを代表値として使用して (16) 式を計算するに、 $a_x=0.01, 0.1, 0.2$  に対する  $F(a_x)$  と  $F'(a_x)$  についてシンプソン法による平均値をとって

$$D = 6.3 + 5.1 \sqrt[3]{(N_i/n_m)(p/\lambda)} \dots\dots\dots (17)$$

が算定される。ただし、 $n_m$  は毎分回転数を表わし、 $D$  を cm で表わすものとする。

これが、 $N_i/n_m$  を与えて  $D$  を定める  $2p$  を含んだ設計標準式である。Richter 氏が与えた数値、 $c_s = 6.5$ 、 $K_{gr} = 5.06$  とほぼ一致することを知る。<sup>(1)</sup>

この出力方程式は形が簡単で計算に便利であるという長所はあるが、最初適当な極数を定めるのに直感的操作を必要とする点に実用上の不便を感じる。

## 5. 極数 $2p$ を含まない出力方程式

4章の出力方程式の不便を除くために極数  $2p$  を含まない出力方程式を作り、(6) 式を併用して  $2p$  を  $D$  と同時に定める方式を用いるほうがより実用的であるといえる。

この出力方程式は (11), (12a), (5) の諸式を用いて次のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{N_i}{n} = \pi^2 \lambda \psi B_{gm} A_{om} \tau_m \frac{\left\{1 + \frac{HF-2}{D-d} h_m\right\}^2}{\left\{1 + \frac{HF+2+d'}{D-d} h_m\right\}^\mu} \\ \times \{1 + HF h_m / (D-d)\}^{\mu-2.5} g (D-d)^2 \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

ただし、 $d' = d/h_m$  とおいた。

この式は、 $\{ \}$  の指数や  $h_m/(D-d)$  の係数が相当大きいために (13) 式のように線形に簡素化することができない。むしろ標準曲線に描いて利用するほうが実用的である。

なお、図を簡単にするために

$$D_i = \sqrt{(N_i/n) / (\pi^2 \lambda \psi B_{gm} A_{om} \tau_m)} \dots\dots\dots (19)$$

を算定して  $D$  を定める方式と

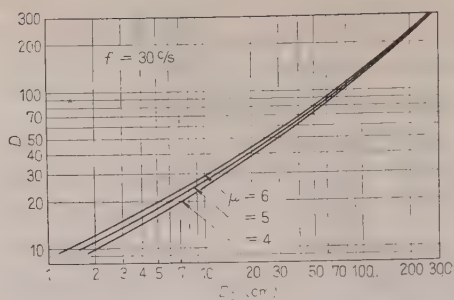
$$\begin{aligned} D_i^2 = \frac{\left\{1 + \frac{HF-2}{D-d} h_m\right\}^2 \left\{1 + \frac{HF h_m}{D-d}\right\}^{\mu-2.5}}{\left\{1 + \frac{HF+2+d'}{D-d} h_m\right\}^\mu} \\ \times g (D-d)^2 \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

によって作図するほうが便利に使用できる。

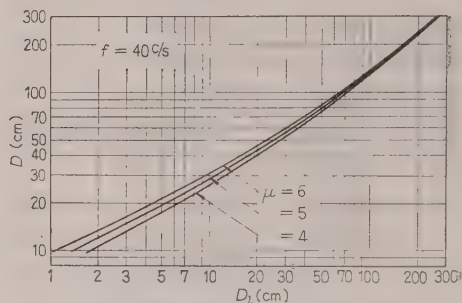
この  $D_i$  は比磁気装荷、比電気装荷、磁極ピッチに主要な定数である  $B_{gm}$ 、 $A_{om}$ 、 $\tau_m$  を用い、 $\lambda$  を適当に選んで (1), (12a) の両式から直接算定した仮想直径を表わしている。

(20) 式は、得られる結果は前章の出力方程式と大差はないが、近似化によって非合理化することなく実用化された出力方程式として筆者の提唱するものである。

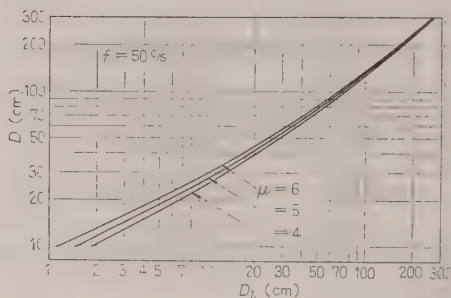
上の設計基本式の数値例として前章にあげた基礎因子の諸数値により、 $f = 30, 40, 50, 60$  c/s ごとに  $\mu =$



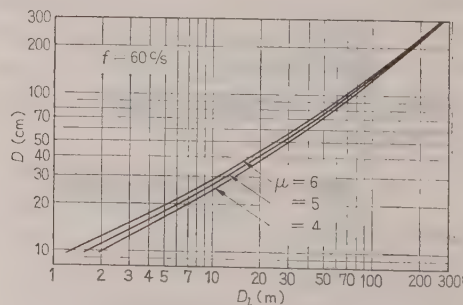
第 2 図  $f = 30$  c/s に対する電機子  
外径決定の標準曲線



第 3 図  $f = 40$  c/s に対する電機子  
外径決定の標準曲線

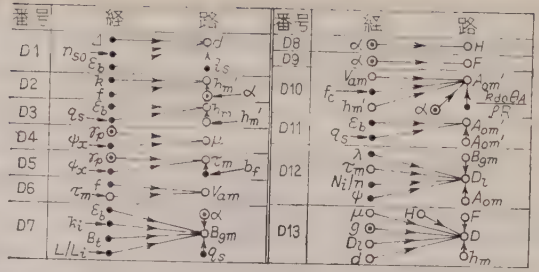
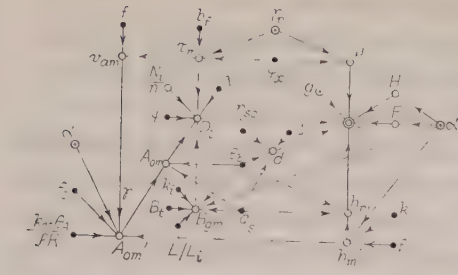


第 4 図  $f = 50$  c/s に対する電機子  
外径決定の標準曲線



第 5 図  $f = 60$  c/s に対する電機子  
外径決定の標準曲線





番 号	関 係 式	式番号	番 号	関 係 式	式番号
D 1	$d = \frac{2\Delta + \epsilon_b n_{so}/\pi}{1 - q_s \epsilon_b/\pi}$		D 9	A 8 に同じ <sup>(2)</sup>	
D 2	$h_m' = 1/\sqrt[3]{\alpha/(1.5 - \alpha)} k f^{1.5}$		D 10	$A_{om}' = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \sqrt{f_o k_{do} \theta_A v_{om}' h_m'}$	
D 3	$h_m = h_m'/(1 - q_s \epsilon_b/\pi)$		D 11	$A_{om} = A_{om}'(1 - q_s \epsilon_b/\pi)$	
D 4	$\mu = \gamma_p/(\psi_x - \gamma_p)$		D 12	$D_i = \sqrt{\frac{N_i}{n}} / (\pi^2 \lambda \psi B_{gm} A_{om} c_m)$	(19)
D 5	$\tau_m = 2 b f/(\psi_x - \gamma_p)$		D 13	$D_i^2 = \{1 + (HF - 2) h_m/(D - d)\}^2$ $\times \frac{\{1 + HF h_m/(D - d)\}^{\mu - 2.5}}{\{1 + HF + 2 + d/h_m\} h_m}^*$ $* \frac{g(D - d)^2}{(D - \alpha)^{\mu}}$	(20)
D 6	$v_{om} = 2 f \tau_m$				
D 7	$B_{gm} = B_t \frac{L}{L_i} \frac{k_i}{1 + \alpha} (1 - q_s \epsilon_b/\pi)$				
D 8	$H = 5/(1.5 - \alpha)$				

第 6 図 D の構成因子の構造を示す形態図

4, 5, 6 に対して  $D_i$  と電機子直径  $D$  との関係曲線を描くと第 2 図～第 5 図を得る。

これが極数  $2p$  を含まない出力方程式の関係を表わす設計の標準曲線である。

これらの図から、 $\mu=4\sim6$  の範囲では  $D_i$  対  $D$  曲線は接近していて、 $\mu=5$  のもので代表してもさしつかえない程度のものであることがわかる。

次に、代表値  $\mu=5$  のときに種々の  $f$  に対して  $D_i$  対  $D$  曲線が変化する模様を描くとわかるように 40～60 c/s ではさほど大きな違いはなく、ほぼ  $D$  を知る程度のときは 50 c/s の曲線を代表して用いてもよい。

なお (20) 式で示される出力方程式における  $D$  の構成因子の形態図を描くと第 6 図のようになる。

## 6. $D^2 L_i n'$ 説の出力方程式

従来提唱されている統計的あるいは経験的な出力方程式のほとんどは  $N_i/n = K_j D^m L_i^{n'}$  なる一般式に含まれる。

これらはそれぞれの適用範囲と偏差の許容限界とを適当に定めれば、いずれも実用性をもつものであってそれらに優劣をつけることは困難である。

本章では合理性の点から  $D^2 L_i n'$  説をとり、(11) 式の出力方程式の原式によって考察しようとする。

すでにいわれているように、 $\phi A_o B_g$  は電機子単位表面積の定格平均切線力に比例するものを表わしており、 $A_o B_g$  は磁極ギャップ側表面積の定格反切線力に比例するものを表わしている。

この物理的意味を用いて  $D^2 L_i n'$  説をいい表わせば、磁極単位表面積の反切線力が磁極ピッチによって規定されるものとして  $A_o B_g \propto \tau^{n'} (n'$  は定数) とおき、ついで経済上  $L_i$  が  $\tau$  に比例することが望ましいとして  $\tau = L_i/\lambda$  とおき換えて (1) 式から出力方程式を導いたものとみなされる。

この  $A_o B_g$  が磁極ピッチによって規定されるということは、毎極電機子反作用が毎極磁束数によって限定される性質があることから一応うなずきうるものであって、これは竹内氏その他の装荷の分配方式とも相通ずるものがある。

本節にはいる前にこのことを説明しておく。

(4)、(7) 両式において  $(HF - 2) h_m$  と  $d$  とを  $D$  に対し無視し、 $g \approx 1$  とおくと、 $c_1$  を定数として

$$A_o \approx c_1 B_g^{1.5} \dots \dots \dots (21 a)$$

の関係がなりたつ。

いま、磁極ギャップ側の単位面積の反切線力を  $\tau^{n'}$  に比例するとし、 $c_2$ 、 $n'$  を定数として

$$A_o B_g = c_2 \tau^{n'} \dots \dots \dots (21 b)$$

とおくと, (21 a), (21 b) 両式から

$$B_g \approx (c_2/c_1)^{0.4} \tau^{0.4n''}, \quad A_o \approx c_1^{0.4} c_2^{0.6} \tau^{0.6n''}$$

と定まる。しかし、毎極磁気装荷  $\phi$  と毎極電気装荷  $A_p$  とはそれぞれ

$$\phi = B_g \phi \tau L_i, \quad A_p = A_o \tau$$

で与えられるから,  $L_i = \lambda \tau$  の関係と上の  $B_g, A_o$  の関係をこの式に代入して,  $\tau$  を消去し

$$\gamma' = (2 + 0.4n'') / (1 + 0.6n'') \quad \dots\dots (22)$$

とおき,  $c_3$  を定数として次の式が求まる。

$$\phi = c_3 A_p \gamma' \quad \dots\dots (23)$$

これが竹内氏の装荷分配の基本式である。<sup>(3)</sup>

竹内氏は直流機に対して  $\gamma' = 1.5$  を与えているが, これは (22) 式から  $n'' = 1$  に相当することを知り Ott 氏の  $D^2 L_i^{n''}$  説に通ずる。本稿では後で  $n'' = 0.7$  と定めるが, これに対して  $\gamma' = 1.6$  となる。

このように, 従来提示されている装荷分配の諸説と  $D^2 L_i^{n''}$  説とは密接な関係をもつものである。

さて, このような  $D^2 L_i^{n''}$  説を本稿で掲げた諸基本式によって導くには, まず (11) 式を

$$\frac{N_i}{n} = \pi^2 \phi B_{gm} A_{om} \frac{\{1 + (HF - 2) h_m / (D - d)\}^2}{\{1 + HF h_m / (D - d)\}^{2.5}} g \times (D - d)^2 L_i \quad \dots\dots (24)$$

また, (5) 式を

$$\tau = \tau_m \left\{ \frac{1 + HF h_m / (D - d)}{1 + (HF + 2 + d') h_m / (D - d)} \right\}^\mu \quad \dots\dots (25)$$

と置き換えておく。いま

$$G_1(D) = \frac{\{1 + (HF - 2) h_m / (D - d)\}^2}{\{1 + HF h_m / (D - d)\}^{2.5}} g \quad \dots\dots (24a)$$

$$G_2(D) = \frac{1 + HF h_m / (D - d)}{1 + (HF + 2 + d') h_m / (D - d)} \quad \dots\dots (25a)$$

とおくと, (24), (25) 両式は, それぞれ

$$N_i/n = \pi^2 \phi B_{gm} A_{om} G_1(D) (D - d)^2 L_i \quad \dots (26)$$

$$\tau = \tau_m G_2(D)^\mu \quad \dots\dots (27)$$

と簡単に表わされる。この  $G_1(D), G_2(D)$  はともにゆるやかに増加する曲線を示し  $D \rightarrow \infty$  で 1 となるような  $D$  の関数である。

そこで  $G_1(D)$  と  $G_2(D)^{\mu n''}$  ( $n''$  は定数) とをできるだけ一致させるような  $n''$  を考え, その違いに対する補正係数を  $T_s(D)$  とすると

$$G_1(D) = T_s(D) G_2(D)^{\mu n''} \quad \dots\dots (28)$$

で表わされ, この (27), (28) 式と (12 a) 式とを (26)

式に代入して,  $n' = 1 + n''$  とおいて

$$N_i/n = K_T (D - d)^2 L_i^{n'} \quad \dots\dots (29)$$

$$K_T = T_s(D) \pi^2 \phi B_{gm} A_{om} / (\lambda \tau_m)^{n''} \quad \dots\dots (30)$$

なる出力方程式を得る。

$d$  はスロット絶縁とくさびなどの寸法の総和を電機子直径に換算した値で,  $N_i/n$  には無関係であるから, これを除いた  $(D - d)$  が有効電機子直径として  $N_i/n$  により算定されるべきであることを (29) 式は説明している。

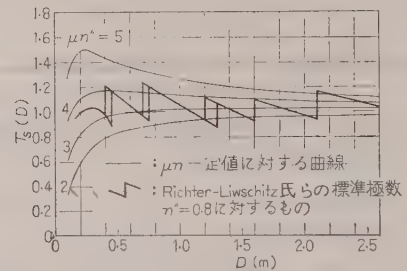
そして  $d$  を  $D$  に対して無視すると, (29) 式は

$$N_i/n = K_T D^2 L_i^{n'} \quad \dots\dots (31)$$

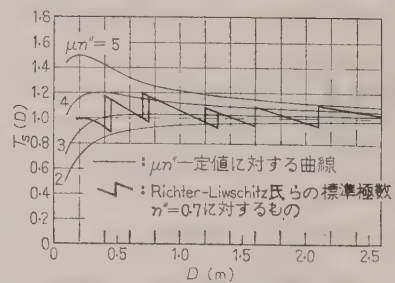
となる。(29) 式または (31) 式が所要の出力方程式の基本式である。

この出力方程式が実用的であるか否かということは, (30) 式で与えられる  $K_T$  のひいては  $T_s(D)$  の  $D$  に対する一定性のいかにかかっている。

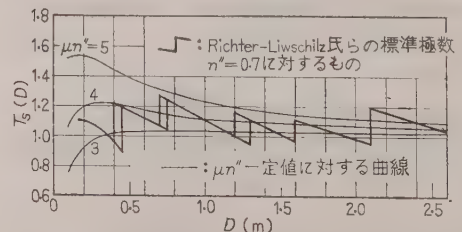
そこで数値例によってこれを調べてみるに, 4 章で掲げた各因子の数値を用いて  $\mu n''$  の種々の値に対して (24 a), (25 a) 式および (28) 式により  $T_s(D)$



第 7 図  $f = 30$  c/s に対する補正係数  $T_s(D)$  曲線



第 8 図  $f = 50$  c/s に対する補正係数  $T_s(D)$  曲線



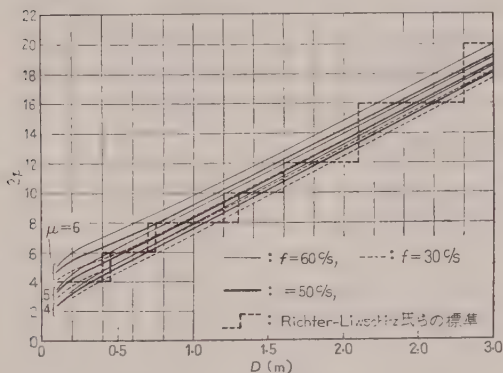
第 9 図  $f = 60$  c/s に対する補正係数  $T_s(D)$  曲線



を計算すると、 $f=30, 50, 60$  c/s の各周波数別に第7図～第9図の細線の曲線が求まる。

すなわち、 $f=40\sim60$  c/s で  $\mu n''=3.5$ 、 $f=30$  c/s で  $\mu n''=4$  の付近で  $D\geq 20$  cm に対しは  $T_s(D)$  は一定となることがわかる。ゆえに  $\mu=5$  にとり、それぞれ  $n''=0.7$  または  $n''=0.8$  が定まり、 $n'=1+n''=1.7$  または  $1.8$  が定まる。

ここに、 $\mu$  は極数を定める (6) 式の基本式における主要因子である。この (6) 式に4章の諸数値を代入して極数を定める設計標準式を描くと第10図を得る。(2)



第10図 極数標準曲線

設計の実際においては、 $\mu=5$  一定としては極数は選定されず、これを中心にして第10図の Richter-Liwschitz 氏らの標準折線のように偶数値をとって変わるべきである。(2)

ゆえに、 $f=40\sim60$  c/s で  $n''=0.7$ 、 $f=30$  c/s で  $n''=0.8$  と定めてこの折線によって  $T_s(D)$  を作図すると第7図～第9図の太線の折線図を得る。すなわち、平均値はほぼ一定であるが、約  $0.9\sim1.2$  の相当広いふれを示している。

したがって、4章の諸数値を用い、 $\lambda=0.8$  を仮定して (31) 式を計算すると

$$f=40\sim60 \text{ c/s: } N_i/n = (462\sim665) \times 10^3 D^2 L_i^{1.7}$$

$$f=30 \text{ c/s: } N_i/n = (536\sim725) \times 10^3 D^2 L_i^{1.8}$$

なる所要の出力方程式を表わす設計標準式を得る。

この出力方程式は形は簡単であるが、実用にあたって  $L_i$  を  $\tau$  に換算する手間を要し、また係数の偏差が大きいために設計用としては前掲のものにくらべて実用性が劣っている。

なお、上に求めた  $f=40\sim60$  c/s のときの出力係数を  $N_i/n = K_i D^2 L_i$  の形の出力係数に換算し Arnold 氏の出力係数<sup>(4)</sup>と比較すると、 $\tau=0.125\sim0.5$  m、 $\lambda=0.8$  としては  $K_i \approx (90\sim350) \times 10^3$  を得る。Arnold 氏

が与えたこの係数の数値は、 $K_i = (18\sim240) \times 10^3$  であるから、同氏の採用した  $B_g$  と  $A_g$  とが本稿のそれよりも低いことを考えて、だいたい妥当性をもつものであることがわかる。

## 7. 直流機主要寸法の決定法

本文で掲げた出力方程式の基礎因子の主要なものをまとめると次のとおりである。

定格容量、電圧、電流、回転数、形式はいずれでもない。電機子関係では導体の固有抵抗  $\rho$ 、温度上昇設計規定値  $\theta_A$ 、放熱係数  $k_{dA}$ 、コイル側面の有効放熱面積を定める係数  $a$ 、定数  $R$ 、さらに導体絶縁による幅方向のすき間率  $f_o$ 、スロット絶縁の厚さ  $\epsilon_b$  および  $\Delta$  である。また、電機子鉄心関係では機械的強度から定まる歯の幅の最小値や歯の根本付近の見掛けの磁束密度の許容最大値  $B_t$  である。

電機子導体の整流による電流損を定める係数  $k$  は本文でもっとも重要視する基礎因子である。これはスロット内導体高さ、磁極ピッチ、比磁気装荷および比電気装荷などの  $D \rightarrow \infty$  における極限值を有限ならしめ、出力方程式などの特性を規定する重要因子となる。

この  $k$  の値を定める主要因子は導体の固有抵抗と整流子面の磁極ピッチに対する整流間隔との比である。(2) 後者はすべての直流機について一定値をとるとはいえないが、多少は安全側にとることを許して一定値と定めるのである。ただし、この値がはなはだしく異なるものに対しては別の適当な値を定めて別個に取り扱わなければならない。

スロット数を定める係数  $n_{so}$  と  $q_s$  も基礎因子である。ただし、その偏差のスロット内導体高さ、電気および磁気装荷などの設計主要因子に対する影響は非常に少ないから大略の平均値を定める程度でよい。

固定子関係で基礎となる因子は、界磁コイル幅  $b_f$  および界磁コイル幅と主磁極鉄心幅との和の磁極ピッチに対する割合  $\psi_a$  である。ただし、これらの因子の代わりに  $D \rightarrow \infty$  における磁極ピッチ  $\tau_m$ 、と  $\mu$  を定めてもよい。

出力方程式その他の標準式を充分活用するためには、それらの諸係数は以上のような物理的意味の明確な基礎因子の連結関係によって定められなければならないから、過去の設計製作の結果を検討して総合的な係数の数値を求めることも無意味ではないが、基礎的な実験研究によって基礎因子の数値を定めることがさらに重要である。

しかも、材質や測定方法や電機に対する要求条件は

年とともに変化するものであるから、一度定めた設計の標準式や標準曲線が永久に利用できることを期待することはできない。基礎因子の数値の変化に応じて用意された基本式を用い標準式や標準曲線を改変することを忘れてはならない。

基礎因子の諸数値が定まると、まず種々の標準周波数に対して (2) 式から  $\alpha$  を定め、次いで  $H, F, h_m', h_m, B_{gm}, A_{om}, D_l$  などの中間因子を定める。

次にスロット内導体高さ  $h'$  の標準式が (3) 式から各周波数ごとに、また極数の標準式が (6) 式から各周波数  $f$  と  $\mu$  ごとに定まる。

さらに、(4), (7), (20) の諸式から  $B_g, A_o, D_l$  を与える標準式が求まる。これらは一般に標準周波数の範囲では  $f$  に無関係に近く、中央値のもので代表させてもさしつかえない程度のものである。

以上述べたような設計の諸標準式が定まり、これに対する標準曲線を描くと設計の準備が完了する。

次いでこれらの設計標準式を用いて 5 章の方式によって主要寸法を決定する過程を説明したものが第 11 図の形態図である。

同図中の記号のうち、一つの因子から出てその因子に帰る環の記号は、たとえば偶数に規定されるなど標準数値の内から選ぶことが要求されるときに用いるもので、算定した数値を基にしてこれにもっとも近い標準数値を選定することを意味する。

また、二重矢印は算定した一つの因子の数値によりすでに決定されている前の因子の数値を訂正することを表わす。

この形態図中の二三の主要点について説明するに、設計の出発点ではまず経済と整流の条件から適当な  $\alpha$  を仮定し、一応  $\mu=5, f=50$  c/s のような代表値に対して  $D_l$  を定める。そして第 2 図～第 5 図および第 10 図のような  $D_l$  対  $D$  および  $2p$  対  $D$  の設計標準曲線を使用して、 $\mu$  の値を媒介として、電機子直径  $D$  と極数  $2p$  とを同時に定める。

次いで周波数が算定されるから、この  $f$  で改めて  $D$  と  $2p$  とを定め直し、新たに周波数を定めて仮定した  $f$  とはほぼ一致させる。次いで用意した標準曲線によって  $\alpha, h'$  および  $A_o$  の標準値を求める。

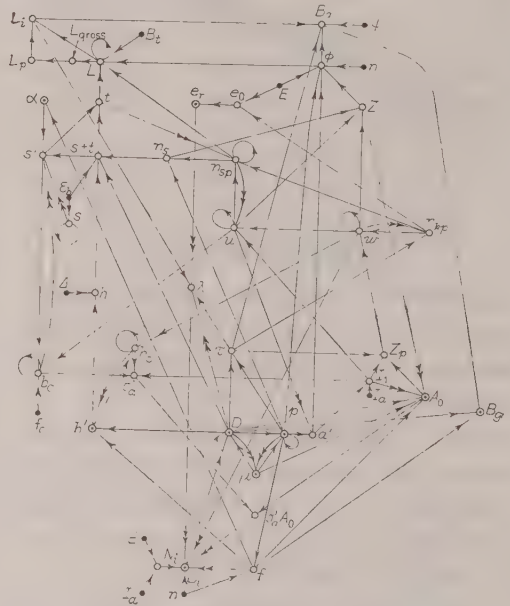
このようにして設計を進め、最後に  $B_g$  が計算されるので、標準曲線による  $B_g$  の値と照合してその値がほぼ合致することを確認する。

設計の各段階でスロット内導体数が偶数であること、電機子直径  $D$  が標準寸法の内から選ばれること、スロット形状が標準化されていることなどの制限によって各因子の数値に理想値をとることができないため

に、計算を進めて最後に得た比磁気装荷  $B_g$  と標準曲線と与える  $B_g$  の値とが食い違うことが起る。

ゆえに、 $A_o$  を主として  $B_g$  を従にするか、 $B_g$  を主として  $A_o$  を従とするかによって設計の数値が多少異なるわけである。本文では  $A_o$  が電機子コイルの温度上昇や整流の良否を定める重要因子であることからこれを主とするのである。

このような設計値と理想値との喰い違いは設計条件の所定値である温度上昇値やリアクタンス電圧に対しても起る危険性がある。このために本設計法では  $\sigma_a \times A_o$  や平均整流子片間電圧によって主要寸法設計過程で温度上昇値やリアクタンス電圧に対して安全であることを予測する。そしてこれらが所定値から著しくはずれる場合には出発点の  $D_l$  にかえて  $A_{om}$  を検討し、または  $\lambda$  の仮定値を変更して再出発するという反省的な操作を行う。



第 11 図 主要寸法を定める設計過程を表わす形態図

## 8. 結 言

設計の標準式や標準曲線はそれらの基礎因子との連結関係を明らかにした基本式から求めたものでなければ、使用材料の材質や放熱の模様の変化に応じてこれを活用することができない。

このような見解から、さきに求めた<sup>(2)</sup>比磁気装荷、比電気装荷、磁極ピッチなどの設計の基本式を用いて理論的な出力方程式の一般式を求めた。

そしてこの式から Richter 氏の出力方程式が近似的に導かれることを示し、その構成因子を明らかにし




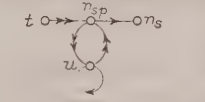

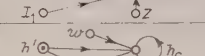
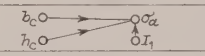
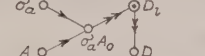

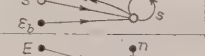



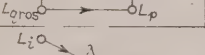
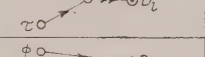

第 11 図 付表 I-1

順 番	経 路	決 定 因 子
1		電機子直径 極 対 数
2		周 波 数
3		電機子巻線 回 路 数
4		毎 電 機 子 回 路 電 流
5		磁極ピッチ
6		比電気装荷
7		毎種導体数
8		毎 極 整 流 子 片 数
9		巻 回 数
10		整 流 子 片 間 電 圧
11		リアクタンス 電 圧
12		
13		
14		毎 極 スロット 数
15		スロット総数
16		スロット内 導 体 高 さ
17		
18		スロット内導体幅 と歯根幅との比
19		スロット内導体幅
20		導 体 幅

第 11 図 付表 I-2

順 番	基本式または説明
(1)	$D_l^2 = \frac{\{1 + (HF - 2)x\}^2 \{1 + HFx\}^{\mu-2.5}}{\{1 + (HF + 2 + d')x\}^{\mu}}$ $\times (D-d)^2 g$ <p>ただし, <math>D_l = \sqrt{(N_i/n) \phi \pi^2 \lambda B_{gm} \tau_m}</math>  <math>x = h_m / (D-d)</math>  <math>2p = \frac{\pi D}{\tau_m} \left(1 + \frac{2h_m + d}{D-d + HFh_m}\right)^{\mu}</math>  <math>D</math>: 標準寸法, <math>p</math>: 整数, <math>\lambda</math> と <math>\mu</math> を調整する。</p>
(2)	$f = pn$ , 新しく定めた $f$ によって (1) に帰りあらためて $D$ を定め $p$ を定める。
(3)	一重重ね巻, $a'' = p$ : 一重波巻, $a'' = 1$ など
(4)	$I_1 = I_a / (2a'')$
(5)	$\tau = \pi D / (2p)$
(6)	$A_o = A_{om} g \frac{\{1 + (HF - 2)x\} D - d}{\{1 + HFx\}^{1.5} D}$ $A_{om} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \sqrt{f_o \frac{\theta_A k d_o}{\rho R} \frac{v_{am}^2}{2(\alpha - 1)} h_m'} \left(1 - \frac{q_s \epsilon_b}{\pi}\right)$
(7)	$Z_p = A_o \tau / I_1$
(8)	$n_{kp} \leq 0.7 \tau (\text{cm}) / (0.35 \sim 0.5)$
(9)	$w = Z_p / (2n_{kp})$ , $w$ : 整数, $w$ により $n_{kp}$ を決定する。 $w=1$ を基準とし $w \geq 2$ で $2w$ 層とする場合は $h_m'$ , $h_m$ を $\sqrt[3]{w}$ 倍して $D_l$ を訂正し再出発する。重ね巻で $w$ を増す代わりに波巻にすることも考える。
(10)	$e_o = E / (\phi n_{kp})$
(11)	$e_r = (\ell A_{om} / B_{gm}) < 8 \text{ V}$
(12)	$e_r$ が制限値をこすときは, $\lambda$ を訂正し $D_l$ を変更して再出発する。
(13)	$u \geq 1,500 / (2 I_1 w)$ , $u$ : 整数により $u$ のとりうる数値を定める。 $u < 1$ ならば $a''$ を変える。(必要なら $p$ も変える)
(14)	$n_{sp} = n_{kp} / u$ , 重ね巻なら $n_{sp}$ = 整数/2 など: $u$ は (13) で定めた整数値のうちから選ぶ。あとの過程 (22) の $t$ によって訂正されることを考えて一応 $7 < n_{sp} < 18$ と決めておく。
(15)	$n_s = 2 p n_{sp}$
(16)	$h' = h_m' / (1 + HFx)$
(17)	$h = h' + \Delta$ , $s' + t = \pi (D - 2h) / n_s - \epsilon_b$
(18)	$\frac{2\alpha - 1}{1 - \alpha} \sqrt{\frac{1.5 - \alpha}{\alpha}} = \frac{\pi e}{a_{qs}} \sqrt{k f^{1.5}}$
(19)	$s' = \{\alpha / (1 + \alpha)\} (s' + t)$
(20)	$b_c = f_o s' / u$ ; $b_o$ : 標準寸法, $s'$ を訂正する。

第 11 図 付表 II-2

順 番	経 路	決 定 因 子
21		歯の根本の幅
22		スロット総数
23		導 体 総 数
24		比電気負荷
25		導 体 高 さ
26		電機子導体 電 流 密 度
27		
28		スロット高さ
29		スロット幅
30		每極磁束数
31		電 機 子 鉄 板 積 厚
32		ギャップ磁束 有 効 軸 長
33		
34		比磁気負荷

第 11 図 付表 II-2

順 番	基本式または説明
(21)	$t = (s' + t) - s'$ $t > 5 \text{ mm}$ , 普通 $8 \text{ mm}$ くらい
(22)	$t$ および歯の最小幅が $5 \text{ mm}$ より小ならば (13) で定めた $u$ の数値の中から選び直して $n_{sp}$ を訂正し, さらに $n_s$ も定め直す。ただし, $u$ は最小値にとる。ここで $u$ と $n_{sp}$ と $n_s$ とが決定する。
(23)	$Z = 2 w u n_s$
(24)	$A_0 = Z I_1 / (\pi D)$
(25)	$h_o = h' / 2 w$ ( $h_o$ : 標準寸法) 決定した $h_o$ によって $h'$ を訂正しておく。
(26)	$\sigma_a = I_1 / (b_o h_o)$
(27)	$1,000 \leq \sigma_a A_0 < 1,800 \text{ A}^3/\text{mm}^2\text{cm}$ この範囲外なら $D_i$ を再検討し再出発。
(29)	$h = h' + \Delta$
(29)	$s = s' + \epsilon_b$ $s$ は標準抜形寸法のうちから選ぶ。
(30)	$\phi = E / \left( \frac{p}{a'} Z n \right)$
(31)	$L = \phi / (\phi n_{sp} k_i B_t)$ $L$ は標準寸法から選ぶ。
(32)	$L_{\text{gross}} = L + \text{通風ダクト幅} \times \text{ダクト数}$ $L_p = (0.9 \sim 1) L_{\text{gross}}$ $L_i = (L + L_p) / 2$
(33)	$\lambda = L_i / \tau$ , (1) で $D_i$ を定めるために仮定した $\lambda$ を訂正して $D_i$ を定め直す。
(34)	$B_g = \phi / (\phi \tau L_i)$ $B_g = B_{gm} \frac{1 + (HF - 2)x D - d}{1 + HFx} \frac{D}{D}$ と照合

た。そしてこれを実用性の点から改良した新しい出力方程式を提示し、その構成因子の連結関係を示し、さらにこれに応用する場合の設計法に言及した。

次いで出力方程式の一般式から  $D^2 L_i^{n'}$  説の出力方程式を導き、これを検討し Richter 氏にくらべて設計用としては劣ることを述べた。

新しく提示した出力方程式は、Richter 氏の出力方程式が出力係数に一定値が与えられる点ですぐれてはいるが、あらかじめ極数を定める直感的な操作を必要とする欠点に改良を加えて導かれたものであって、実証的にはやはり Richter 氏の経験式に依存するものであって同氏の方法から完全に独立したものではない。

この新しい出力方程式の意義は、他の出力方程式に対する実証性の優劣よりもこれによって設計するときの過程の合理性と円滑さに重点がおかれている。

設計は元來勘を用いる試行錯誤の方法によるものとされ、豊富な経験によって得られた勘にたよる部分が非常に多いとされているが、本文の理論と設計法によれば、これを軽減させることができると信ずる。ひいては設計の機械化に対する手がかりとなると思う。

終りに、ご指導を賜った京大、林千博教授に深く感謝申し上げる。(昭和 35 年 12 月 19 日受付, 同 36 年 3 月 24 日再受付)

## 文 献

- (1) Richter: Elekt., Masch. 1, 541 (1924)
- (2) 岡: 電学誌 81, 1579 (昭 36) (本号)
- (3) 電気学会編: 電気工学ハンドブック p. 783 (昭 26)
- (4) 電気学会編: 電気工学ハンドブック p. 781 (昭 26)



UDC 621.315.616.1.011.5 : 539.169.04

## ゴムの誘電的性質におよぼす放射線の影響\*

資料・論文

36-121

正員 篠原 卯吉† 正員 稲垣 米一††

## 1. 緒 言

原子力の平和的利用の目的から、プラスチックに対する放射線照射の研究と同様に、弾性高分子材料たるゴムに対する放射線照射の研究もいろいろと活発に行われるようになってきた。

現在行われているゴムに対する放射線照射の研究を大別すると次の2種類に分けることができる。すなわち、一つは放射線によるゴムの加硫の研究およびグラフト重合（たとえばゴムとスチレンのように、ゴムと適当な他の物質とのグラフト重合）の研究というような放射線利用の研究であり、他は耐放射線性の研究である。(1)

一般に高分子材料に対する放射線照射の実験は、その材料の応用に対してもっとも重要である特性が特に強調されるところから、以上のゴムに対する研究は高分子弾性材料としての機械的特性の変化を中心として行われている。しかしゴムは電気絶縁材料としての用途も広く、その機械的特性と同時に電気的特性もまた非常に重要なものであるが、筆者の知る限りでは電気的特性の変化はあまり測定されておらず、最近 Currin 氏(2)がシリコーンゴムについて発表している程度である。

このような立場から、われわれはまず現在一般に電気絶縁材料として使用されている現用配合のゴム加硫物すなわち天然ゴム、ブチルゴム、ネオプレンゴムおよびシリコーンゴムについて、放射線による電気的特性のうち、特に誘電特性の変化とその変化の考察の目安として重量変化をも同時に測定したので、その結果について報告する。

## 2. 研究 方 法

(2・1) 研究試料 この実験でとり上げたゴム材料は緒言に記述したように、現用配合のままの天然ゴム(I)および(II)、ブチルゴム、ネオプレンゴムおよびシリコーンゴムの5種類の約1mm厚の既加硫ゴム

シートである。第1表はその配合および加硫条件を示したものであるが、シリコーンゴムだけは信越化学 KE-550 コンパウンドを、(i) 120°C×20 min プレス加圧、(ii) 250°C×30 min 常圧の熱処理によりゴムシートとしたものである。

第1表よりわかるように実験に使用したゴム試料はすべて多量の充てん剤を含有し、天然ゴム(I)および(II)、ブチルゴムでは50%程度の充てん剤が配合されている。

なお参考として第2表に主要成分である天然ゴム、ブチルゴム、ネオプレンゴムおよびシリコーンゴムの分子式を示しておいた。

第1表 ゴム配合表および加硫条件

(1) 天然ゴム (I) 配合		(3) ブチルゴム配合	
ベールクレープ (白)	100.0	PB-100 (ポリサンプチル)	80.0
T.T. (促進剤)	3.0	DFD-2005 (ポリエチレン)	20.0
ZnO (促進剤)	5.0	ZnO	5.0
軽炭カル (充てん剤)	24.5	軽炭カル	126.0
タルク ( " )	30.0	ステアリン酸	2.0
白エンカ ( " )	35.0	ステアリン酸亜鉛	3.0
ステアリン酸 (促進剤)	0.5	T.T.	1.5
パラフィン (清剤)	1.0	M.	1.0
チタン白 (顔料)	"	硫黄	2.0
老防C	"	カーボン	"
	210.0	パラフィン	"
140°C×30 min プレス加硫		老防D	0.5
			245.0
(2) 天然ゴム (II) 配合		(4) ネオプレンゴム配合	
スモークシート	100.0	ネオプレン W	100.0
T.T.	3.0	ZnO	5.0
ZnO	5.0	Na-22 (促進剤)	0.5
軽炭カル	50.0	MgO ( " )	1.5
タルク	"	軽炭カル	20.0
白エンカ	30.0		127.0
ステアリン酸	1.0	140°C×30 min プレス加硫	
パラフィン	2.0		
チタン白	1.0	(5) シリコーンゴム	
老防C	"	KE-550 (コンパウンド)	100.0
	243.0	(i) 120°C×20 min プレス加圧	
140°C×30 min プレス加硫		(ii) 250°C×30 min 常圧	

(2・2) 照射方法 放射線源として名古屋工業技術試験所設備の3,000cの<sup>60</sup>Coよりのγ線を、以上5種類のゴムシート試料に照射した。照射量はレントゲン(r)単位で表わされ、別個に測定された線量率5×10<sup>5</sup> r/hに照射時間を乗じたものである。すなわち

\* Effects of Radiation on the Dielectric Properties of Rubbers. By U. SHINOHARA, Member (Faculty of Engineering, Nagoya University) & Y. INAGAKI, Member (Faculty of Engineering, Gifu University).

† 名古屋大学工学部教授

†† 岐阜大学工学部助教授、前名古屋大学工学部助手

第2表 ゴム分子式

<p>(1) 天然ゴム (シス形ポリイソプレン, 比重: 0.91)</p> $\text{(-CH}_2\text{-}\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH-CH}_2\text{-)}_n$	<p>(2) ブチルゴム (イソプレンに 1~3% のイソブレンを共重合させたもの, 比重: 0.91)</p> $\text{CH}_3\text{-C=CH}_2\text{-CH}_2\text{-}\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}\text{-CH=CH}_2\text{-}\rightarrow\text{(-}\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}\text{-CH=CH}_2\text{-)}_n$ <p>(イソブチレン) (イソブレン)</p>
<p>(3) ネオプレンゴム (ポリクロロプレン, 比重: 1.15~1.23)</p> $\text{(-CH}_2\text{-}\overset{\text{Cl}}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH-CH}_2\text{-)}_n$	<p>(4) シリコンゴム (ジメチルシロキサン体重合体)</p> $\text{(-Si(CH}_3\text{)-O-)}_n$

最大照射量  $80 \times 10^6 \text{ r}$  は照射時間 160 h に相当している。なお実験照射量は  $10 \times 10^6$ ,  $20 \times 10^6$ ,  $40 \times 10^6$ ,  $80 \times 10^6 \text{ r}$  の 4 点である。

放射線照射は主として室温, 空気中で行われたが, 照射中のふんい気の影響を調べるために窒素中でも行われた。すなわちこの場合はガラス管中にゴム試料を封入し, 管内ふんい気を窒素ガス (1 気圧) とし, ガラス管全体に対して放射線照射を行った。

なおブチルゴムだけは照射による軟化が著しいので, その照射にはブチルゴム試料をポリエチレンフィルムにて包装し, かつ照射量は他の 4 者に比べて少なくし,  $5 \times 10^6$ ,  $10 \times 10^6$ ,  $20 \times 10^6 \text{ r}$  とした。

(2.3) 測定方法 重量変化は照射前後における質量の変化を化学天秤 ( $\pm 0.0005 \text{ g}$ ) によって測定し,  $\Delta M/M_0 \times 100\%$  の重量変化率として表わした。 ( $\Delta M$  は照射前後の重量変化,  $M_0$  は照射前の重量である) 吸湿による誤差を避けるために誘電特性の測定とも関連して, 試料をシリカゲル入りのデシケータ中に充分保存してから質量を測定したが, 場合によってはシリカゲルの代わりに五酸化りんを使用した。

誘電特性の測定には主として横河製 Q メータ (QM-101 形) を使用して, 室温,  $100 \text{ kc} \sim 10 \text{ Mc}$  の周波数範囲で誘電率 ( $\epsilon$ ) および誘電正接 ( $\tan \delta$ ) を測定した。特にシリコンゴム, ブチルゴムなど誘電正接の小さい試料では測定にあたり, 測定電極としてシリコングリースで, すずはくを試料にはりつけて使用し, 測定法にも充分注意を払った。一方ネオプレンゴムのような高損失試料に対しては直列法により, また高周波ブリッジによって測定した。

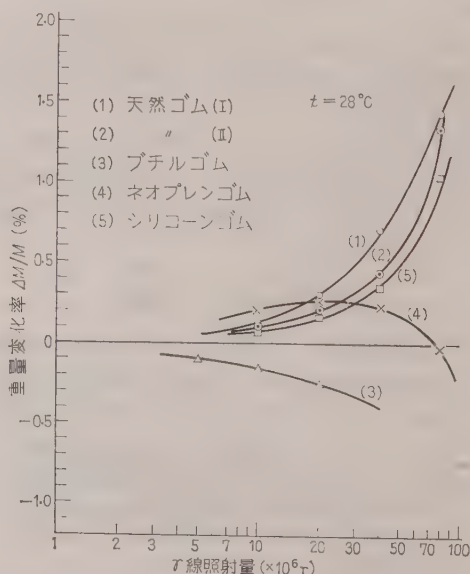
### 3. 研究結果および検討

われわれは<sup>(3)</sup> さきにポリエチレンに  $\gamma$  線を照射してその重量変化, 誘電特性および赤外吸収スペクトルの変化を測定し, 化学的変化の決定に用いた赤外吸収スペクトルの分析結果より, 重量変化および誘電特性

の変化についての考察を行った結果, いずれの場合も酸化現象がもっとも重要な要素を占めており, かつ両者は非常に密接な関連があることがわかった。

ゴムの場合直接赤外吸収スペクトルを測定することができなかったのも, 決定的な化学変化を求めえなかったが, しかし誘電特性の測定と同時に重量変化を測定して, 両者相互の関係において考察を行うことができた。

(3.1) 重量変化 ゴム材料は  $\gamma$  線の空気中照射によって, その材質に応じて重量増加あるいは減少の傾向を示す。第1図は天然ゴム (I) および (II), ブチルゴム, ネオプレンゴムおよびシリコンゴムの  $\gamma$  線照射量と重量変化率の関係を示したものであるが, 天然ゴム (I) および (II), シリコンゴムの 3 者の重量は照射量とともに増加しているのに対して, ブチルゴムの重量は照射量とともに減少している。一方ネオプレンゴムはやや複雑な変化を示し, 最初重量は増

第1図 各種ゴムの  $\gamma$  線照射による重量変化率



加するが、高照射量において急激に減少する傾向を示している。

Charlesby 氏<sup>(4)</sup>はポリエチレンの原子炉内(空气中)照射による重量変化を測定し、放射線照射による重量変化は、

(1) 酸化過程(重量増加)

(2) 水素および低級炭化水素の放出(重量減少)の二つの過程の同時的発生に起因し、ポリエチレンの場合まず酸化により重量増加を示し、次いで高照射量においてはガス放出過程が酸化過程をしのいで減少の傾向を示すことを報告している。この傾向はネオプレンの場合と似ており、ネオプレンにおいては Cl 基をその分子中に有し、一般にハロゲン含有化合物は放射線照射によってハロゲンを遊離することが認められている。したがってネオプレンの場合、Cl<sub>2</sub> または HCl ガスを発生して重量減少を示すものと考えられる。実際、中根、小出氏<sup>(5)</sup>は元素分析によってネオプレンの放射線照射試料中の Cl 含有量を測定したところ、照射量とともに Cl 含有量は著しく減少していることを指摘している。しかしこの失われた Cl の割合にくらべてその重量減少は小さく、その差はおもに酸化によるものとしている。したがって照射の最初の段階では酸化により重量増加を示すが、高照射量において Cl<sub>2</sub> または HCl ガス発生のため重量減少を示す。

他方天然ゴム(I)および(II)、シリコンゴムは重量増加をもたらす酸化過程が、またブチルゴムにおいては重量減少をもたらすガス放出過程がそれぞれ他の過程をしのいで主要な要素を占めているものと思われる。Alexander, Charlesby 氏<sup>(6)</sup>はブチルゴムの主成分であるポリイソプチレンの原子炉内(真空中)照射の結果、水素、メタン、イソプチレンの発生を質量分析計によって検出し、結果的には重量減少を示したことを報告している。なお Warrick 氏<sup>(7)</sup>はジメチルシリコン油について発生ガス成分を質量分析計によって調べたところ、第3表のような結果を得ている。

第 3 表 シリコンゴムの発生ガス成分\*

ガ ス 成 分			体 積 (Vol. %)
水	素		34.4
メ	タ	ン	61.0
エ	タ	ン	4.6

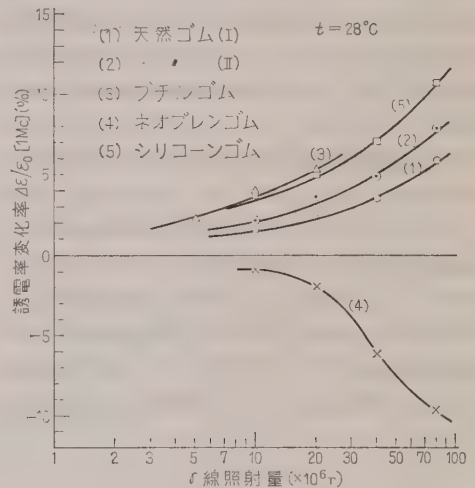
\* 照射量:  $50 \times 10^6$  (rads) ( $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -線)

この結果は Sun 氏らによるポリエチレンおよびその他の有機高分子材料について測定されているところの発生ガスのうち、水素が 94% 以上を占めているという結果と著しく相違しているが、これは重合体の主鎖の化学構造がシリコンゴムの場合、他の炭化水素系

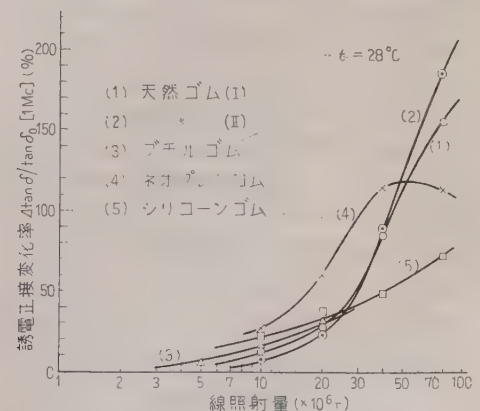
統のものと全く異なるためである。

(3・2) 誘電特性 天然ゴム (I) および(II)、ブチルゴム、ネオプレンゴムおよびシリコンゴムの一定周波数(1 Mc)における誘電率および誘電正接の  $\gamma$  線照射による変化率と照射量の関係を示すと、それぞれ第2図および第3図ようになる。

ネオプレンゴムの場合を除くと、その他のゴム材料は実験照射量範囲内ではすべてその誘電率および誘電正接とも照射量とともに増加している。また一般に誘電正接の変化は誘電率の変化にくらべて大きく、特に天然ゴムの場合、 $40 \times 10^6$  r 以上の照射量においては誘電率の増加が数パーセントであるのに対して誘電正接の増加は 100% 以上である。ブチルゴムおよびシリコンゴム、はその重量変化はそれぞれ減少および増加と全く対称的であるのに、誘電率および誘電正接の変化は両者とも比較的良好に類似していることは検討すべき必要がある。天然ゴム(I)および(II)、シリコンゴムのように明らかに重量増加の現象を示すものは



第 2 図 各種ゴムの  $\gamma$  線照射による誘電率変化率

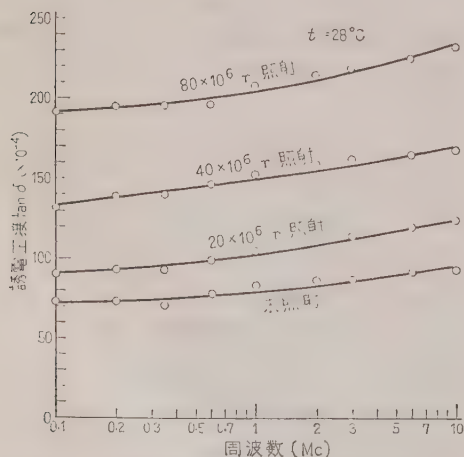


第 3 図 各種ゴムの  $\gamma$  線照射による誘電正接変化率

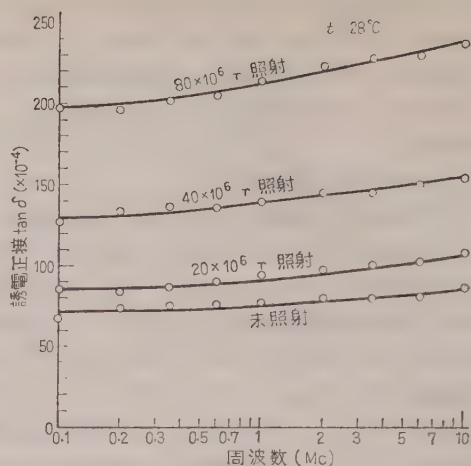
誘電率および誘電正接も著しい増加の傾向を示すところから考えて、照射による誘電特性の低下の原因が主として酸化現象にあることがわかる。他方ブチルゴムの場合、重量変化は一応減少の傾向を示しているが、後述のふんい気の影響で見られるように、窒素中照射の場合には誘電正接はほとんど変化しないところから考えて、誘電特性の低下はおそらく酸化によるものと思われる。

ネオプレンゴムの場合には他の4者に比べ、重量変化の場合と同様に著しく異なった傾向を表わしており、誘電率は照射量とともに減少の一途をたどるのに対して、誘電正接は  $40 \times 10^6$  r までは著しく増加し、それ以後やや減少する傾向を示している。ネオプレンゴムは、その分子式よりわかるように分子内に C-Cl なる極性基を有し、かなり大きな誘電損を示すゴムであるが、放射線照射により Cl が脱落するためにその誘電率は当然減少することが考えられる。しかし誘電正接は元来その未照射値は大きく、放射線照射による著しい増加は単に酸化現象だけによって説明することはできないようである。この点を確かめるためにその他のゴム試料とともに誘電特性の周波数特性を調べてみた。

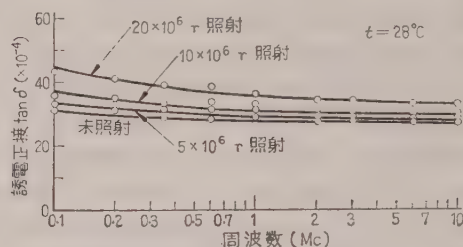
(3・3) 周波数特性 第4図～第8図においてそれぞれ天然ゴム (I) および (II)、ブチルゴム、ネオプレンゴムおよびシリコンゴムの  $100 \text{ kc} \sim 10 \text{ Mc}$  の周波数範囲における誘電正接の周波数特性を示した。パラメータは照射量を示している。図よりネオプレンゴム以外のゴム材料の誘電正接の周波数特性はすべて一様な変化を示しているのに対して、ネオプレンゴムだけはその周波数範囲において複雑な変化を示している。



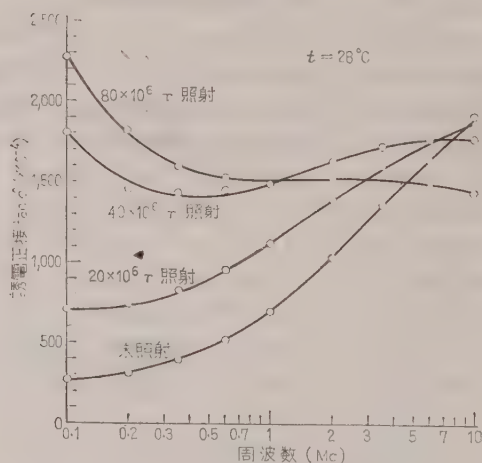
第4図 天然ゴム (I)



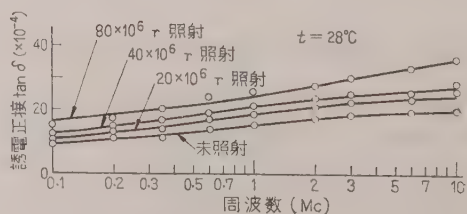
第5図 天然ゴム (II)



第6図 ブチルゴム



第7図 ネオプレンゴム



第8図 シリコンゴム



さて未照射ネオプレンゴムの誘電特性の周波数特性については、すでに Smyth 氏ら<sup>(8)</sup>の詳細な研究があり、その結果によれば C-Cl 極性基のための誘電分散によって常温付近では 10 Mc 付近に損失極大のピークが存在し、10 kc 以下の低周波においてはイオン導電による周波数に逆比例するところの損失が現われる。

この結果を基礎にして第7図のネオプレンゴムの誘電正接の周波数特性を検討すれば次のようになる。すなわち未照射試料では損失の極大を示す誘電分散周波数は 10 Mc 以上にあるが、この分散周波数は照射量の増加とともに低周波側に移行し、同時に、また損失の極大値は減少している。一方、低周波側においてはイオン導電による損失が照射量とともに増大し、 $40 \times 10^6$ r 以上では明らかにその傾向を示している。

ここでネオプレンゴムの放射線による化学変化について知られていることは、前述のように C-Cl 結合が破壊されるだけでなく、さらに第4表よりわかるようにネオプレンはその破壊点において分子相互の架橋を生じ、その結果硬化するということである。

第 4 表 放射線によるポリマーの架橋と崩壊

架 橋 す る 群	分 解 す る 群
ポリアクリル酸エステル	ポリメタクリル酸メチル
ポリスチレン	ポリ塩化ビニール
ポリエチレン	セルローズ
ナイロン	ポリイソブチレン
天然ゴム	(ブチルゴム)
S.B.R.	ケルF形ふっ素ゴム
ネオプレン	
ジメチルシロキサン (シリコンゴム)	

普通誘電分散周波数( $f_m$ ) および誘電緩和時間( $\tau_m$ ) は

$$\tau_m = \frac{1}{2\pi f_m} = \frac{4\pi a^3}{kT} \eta \propto \eta \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $a$ : 回転双極子の半径、 $\eta$ : 双極子回転に対する内部粘性、 $k$ : ボルツマン定数、 $T$ : 絶対温度

(1) 式に示すとおりであるが、いまネオプレンゴムの場合を考えると、放射線照射により架橋を生じ、当然その双極子回転に対する内部粘性( $\eta$ )が増大するため緩和時間( $\tau_m$ )は増大することになる。この結果、誘電分散周波数は低下して低周波側に移行する。また同時に C-Cl 結合が破壊されるので、極性基の数が減少するため (2)式に示されるように誘電損の極大値は減少することになると思われる。

昭和 36 年 10 月 (J.I.E.E.J.)

$$\epsilon_m'' = \frac{\alpha}{2} (\epsilon_0 - \epsilon_\infty) \propto N_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $\epsilon_m''$ :  $\epsilon''$  の極大値、 $\epsilon_0$ : 静的誘電率、 $\epsilon_\infty$ : 光学的誘電率、 $\alpha$ : 吸収曲線の幅を決めるパラメータで物質によって異なる、 $N_0$ : 双極子の密度

また低周波側においてイオン導電による損失が照射量とともに増加している事実より、放射線により切断された Cl は  $Cl_2$  または HCl ガスとして試料外部へ蒸発によって消失するものもあるが、他方イオンとして試料内に残留し、イオン導電に寄与していることが推察される。

以上の結果より有極性ゴム材料たるネオプレンの放射線による誘電特性の変化は、分子中の極性基の挙動だけでなく、架橋反応もまた非常に重要な要素を占めている。すなわち放射線による架橋生成の結果、内部粘性が増加し、そのために誘電分散周波数は低下して低周波側に移行することが観察された。この事実は有極性材料の場合、誘電分散周波数の変化から逆にその材料が放射線に対して架橋形であるか否かを推定できることを示している。すなわち崩壊形の場合、もし軟化現象が認められるならば、その結果内部粘性が低下して、誘電分散周波数は高周波側に移行することが考えられるからである。

これに対して無極性材料に近い天然ゴム、ブチルゴムおよびシリコンゴムでは、一般に放射線の酸化作用により誘電特性は低下する。したがって、この場合誘電的性質から放射線に対して架橋形であるか崩壊形であるかを見出すには、有極性材料の場合と同様に、還元極性基による誘電分散周波数の放射線照射による変化を測定するのがもっとも適当であると思う。本実験に使用した物質中、ブチルゴムだけは崩壊形に属し、他の物質は架橋形に属すと考えられるが、第4図～第8図において見られるように実験周波数範囲(0.1～10 Mc)では誘電正接の値は単調な変化を示すだけで、誘電分散周波数を求めることができなかった。したがって今後測定周波数範囲をさらに高周波側および低周波側に拡張して誘電分散周波数を求めれば、誘電的性質のうえでの崩壊形と架橋形との差異を明確にはあくすることができると思う。

なおブチルゴムだけに硫黄が少しはいっているが、いままで行われている放射線架橋によるゴムの加硫の研究によれば、天然ゴムの場合硫黄のような加硫剤を加えても放射線加硫にはなんらの効果が認められないことが報告されており、<sup>(9)</sup>ブチルゴムの場合は架橋より崩壊が主要な反応を占めるので、その影響は少ない

ものと思う。

(3・4) ふんい気の影響 高分子材料の放射線損傷の研究はその目的が実際的な場合についての知見を得ることにあるために、空气中照射の条件をとることが多く、したがって放射線だけによる反応以外に空气中の酸素の作用を受け、複雑な反応形態をとる場合が多いことになる。たとえばポリエチレンの場合、空气中照射によると生成した遊離基が酸化に使用されてしまうので、架橋効率は著しく低下する。このために架橋や崩壊反応のような純学問的な研究の場合には、試料をアンプル中に封入して減圧するか、窒素ガスを封入することがよく行われる。われわれは前述の空气中の照射実験に対する結果についての考察を確認するためにも、窒素ガス中の放射線照射の実験を行い、空气中照射実験の場合との比較を行った。

第 5 表 空气中照射と窒素中照射の比較

ゴ ム	(照射量: $20 \times 10^6$ r)			
	重量変化率 (%)		誘電正接変化率* (%)	
	空气中	窒素中	空气中	窒素中
天 然 ゴ ム (I)	+0.29	-0.04	+29	+ 0
ブ チ ル ゴ ム	-0.25	-0.15	+30	- 1
ネ オ プ レ ン ゴ ム	+0.26	-0.74	+60	+36
シ リ コ ー ン ゴ ム	+0.17	-0.06	+34	+ 9

\* 測定周波数: 1 Mc

第 5 表は  $\gamma$  線照射量  $20 \times 10^6$  r における空气中照射と窒素ガス (1 気圧) 中照射の場合の重量変化率と、1 Mc における誘電正接変化率についての結果を示したものである。まず重量変化率をみると、実験に使用したすべてのゴム試料は窒素中照射の場合、重量減少の傾向を示し、特にネオプレンの重量減少率はもっとも大きく、ブチルゴムの重量減少率は空气中照射の場合よりも小さくなっている。この場合酸化による重量増加の過程がないために、ガス放出による重量減少の過程だけとなる。他方、誘電正接についての結果は、窒素中照射の場合酸化が完全に抑制されているので、その変化率は、ネオプレンの場合を除いて著しく小さく、天然ゴムおよびブチルゴムではほとんど変化しない。ただシリコンゴムの場合、酸化は抑制されているはずであるのに誘電正接がやや増加しているのは、おそらく放射線により試料内でさらに架橋が促進されるためではないかと思われる。<sup>(10)</sup> したがって空气中照射の場合、無極性材料に近い天然ゴム、ブチルゴムおよびシリコンゴムではその誘電特性の変化には酸化現象が主要な役割を演じており、他方、ネオプレングムのような有極性材料では酸化のほか極性基の挙動および架橋反応が大きな要素を占めていることが、

このふんい気の影響に関する実験結果よりも推察することができた。なお Bopp, Sisman 氏ら<sup>(11)</sup>はゴムを含む種々の有機高分子材料について純粋な酸素を含む容器と純粋なヘリウムを含む容器に試料を封入し、それぞれに放射線を照射した場合の機械的性質におよぼす照射時のふんい気の影響について調べているが、ゴム材料の場合、デュロメータ硬度についての結果は酸素中照射とヘリウム中照射との値は大差のないことを報告していることは、本実験に関連して興味のあることである。

4. 結 言

原子力工業の発展に伴ない、最近わが国においても各所に強力な放射線照射設備が建設され、この方面の研究が容易に行われるようになってきた。特にポリエチレンを始めとするプラスチック材料に対する放射線照射の実験はいろいろと行われているが、ゴム材料に関してはまだその端緒についたばかりで、今後の開発研究をまつ次第である。

このような情勢から筆者らは電気絶縁材料としてのゴムの電気的性質におよぼす影響について、まず一般に使用されている現用配合のままのゴム加硫物の誘電的性質におよぼす放射線の影響を空气中照射および場合によっては窒素中照射によって調べた。おもな実験結果を示せば次のとおりである。

(1) ゴム加硫物の放射線の空气中照射による重量変化は主として酸化 (重量増加) とガス放出 (重量減少) の二つの過程が重要な要素を占め、この二つの過程の相互の比重関係によって重量変化は決定されるものと思われる。

(2) 比較的無極性材料に近い天然ゴム、ブチルゴムおよびシリコンゴムでは空气中照射の場合、酸化現象によって誘電特性は一般に低下する。

(3) 他方有極性ゴム材料たるネオプレングムの場合には、その誘電特性は複雑な変化を示し、酸化現象よりもむしろ放射線照射による極性基の挙動および架橋が重要な役割を演じている。誘電特性の測定から逆にその材料が架橋形であるか否かを推定することができることがわかった。

(4) 窒素中照射の場合には、すべてのゴム加硫物は重量減少の傾向を示し、特にネオプレングムの重量減少はもっとも大きい。誘電特性の変化は無極性に近いゴムではほとんどなく、ある場合でもわずかであるが、有極性のネオプレングムでは著しい。この実験より上述の実験結果の考察の正しいことが確認された。

今後の研究計画としては、現用配合のゴムでは天然



## 文 献

ゴム、ブチルゴムでは前述のように 50% 程度の無機充てん剤が配合されているので、このような充てん剤を除いた必要最小限度の配合で、なるべく純粋に近いゴム加硫物に対して実験をする予定であるが、さらに酸化防止剤の効果、未加硫ゴムについての実験など多くの問題を残している。

終りにのぞみ、ここに実験試料を作成していただいた藤倉電線沼津工場の沢桓氏および試料の照射をお願いした名古屋工業技術試験所の布目華一氏ならびに飯田昌造氏に厚く感謝の意を表します。

(昭和 36 年 3 月 11 日受付)

- (1) 解説書として A. Charlesby: Atomic Radiation and Polymers および F. A. Bovey: The Effects of Ionizing Radiation on Natural and Synthetic High Polymers がある。
- (2) C.G. Currin: Commun. and Electronics No. 44, 297 (1959)
- (3) 稲垣・篠原: 電学誌 **80**, 904 (昭 35)
- (4) A. Charlesby: Proc. Roy. Soc. A **215**, 187 (1952)
- (5) 中根・小出: 放射線高分子 **1**, No. 1, 3 (昭 34)
- (6) Alexander & Charlesby Proc. Roy. Soc. A **233**, 31 (1955)
- (7) E.L. Warrick: Ind. Eng. Chem. **47**, 2389 (1955)
- (8) C.P. Smyth, et al.: J. Amer. Chem. Soc. **67**, 959 (1945)
- (9) Gehman & Auerbach: I.J. of Appl. Rad. & Isotope **1**, 102 (1956)
- (10) Epstein & Marans: Rubber Age **82**, 825 (1958)
- (11) Bopp & Sisman: Oak Ridge Nat. Lab. Rep. 1373 (1954)

## 求 人 ・ 求 職

本欄に掲載を希望される会員は下記申込記載事項を記入し、料金(求人・求職とも 1 件 500 円)を添えて学会事務所宛にお申し出下さい。申込締切は毎月 20 日で翌月号に掲載します。

なお「求人」申込に対しては、所轄の公共職業安定所に職業安定法第 35 条但書の規定による「事前通報」を提出し「事前通報処理済書」の交付を受けて添付して下さい。

求人欄申込記載事項 1. 職種(詳細に) 2. 学歴 3. 年令 4. 勤務地 5. 勤務地外に居住する応募者に対する事項 6. 給与 7. 選考地(旅費等支給の有無) 8. 締切年月日 9. 連絡先 10. その他必要事項 11. 会社名

求職欄申込記載事項 1. 氏名(生年月日) 2. 住所 3. 学歴 4. 職歴(詳細に) 5. 希望職種(詳細に) 6. 希望勤務地 7. その他

本欄は紙面を有料で提供するだけで、掲載事項に関する照会・仲介・あっせん等は本会ではいっさい致しませんから求人・求職とも直接交渉願います。

## 求 人

1. 職種: 電気機械設備およびプラントに関するコンサルティング、技術資料の調整。設計製図の請負。電気設備の据付工事、運転の監督指導。電気設備に関するサービス業務。電気機械製造技術に関する技術指導。 2. 学歴: 旧制大学、専門学校、工業学校、新制大学、高校(電気、機械、建築)および前記と同等以上の学力、経験を有するもの、 3. 年令: 18~50 才、 4. 勤務地: 東京都内、府中市、京浜地区、関西地区、 5. 勤務地外に居住する応募者に対する事項: 住宅なし、独身寮(京浜地区)、 6. 給与: 面接の上経験、技能、学歴に応じ決定する。ただし 36 年度卒新制大学 15,000 円以上、同工高: 10,000 円以上、 7. 選考地: 東京都港区芝田村町 2 の 12 明産ビル 6 階(旅費実費支給す)、 8. 締切年月日: 昭和 36 年 11 月 20 日、 9. 連絡先: 東京都港区芝田村町 2 の 12 明産ビル 東芝エンジニアリング株式会社総務部、 10. 必要書類: 履歴書、写真、学業成績証明書、卒業証明書、戸籍謄本(ただし学業成績証明書、卒業証明書は最近の学校卒業者のみ)

東芝エンジニアリング株式会社

UDC 621.3.015.532 : 621.315.14

資料・論文

36-122

## 電線表面上の水滴からのコロナ放電\*

正員 佐藤 芳夫†<sup>1</sup> 正員 角田 美弘†<sup>2</sup> 正員 荒井 健次†<sup>3</sup>

## 1. 緒 言

送電線から生じるコロナ放電現象については、古くから多くの研究が行われ、そのコロナ障害軽減の対策として、複導体の使用その他が実施されている。しかし近年、送電電圧の超高圧化がいっそう進むにつれて、コロナ対策の問題も重要性を増し、多くの実験が行われ、降雨時におけるコロナ損およびコロナ雑音障害が特に激しくなることが報告されている。<sup>(1)</sup>

そこで雨中コロナ放電現象の研究の重要性が認識され、人工降雨による研究、水滴を模擬した金属針を電線表面に取り付けた人工突起による研究など<sup>(2)(3)</sup>が行われている。この金属による人工突起の実験結果は降雨時のコロナ損、コロナ雑音などの特性とはかなり異なり、金属針による模擬では雨中コロナの研究には不十分であることが報告されている。

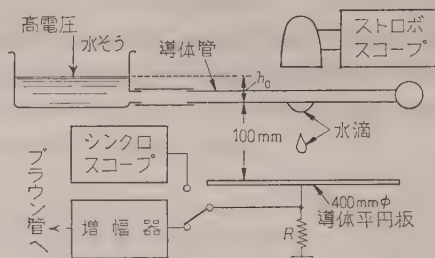
そこでこの問題解明の一手段として、筆者らは1滴の水滴に着目して、その成長、変形、分離、飛散などとコロナパルスとの関連性について種々の実験を行い、その一部はすでに報告した。<sup>(4)~(6)</sup>

水滴からのコロナ放電現象については、Zeleny 氏、Macky 氏、English 氏ら<sup>(7)</sup>などの研究があり、円城寺氏<sup>(8)</sup>もそれに関連した研究を発表しているが、それらはおもに放電物理の見地に立った研究である。

ここでは送電線からの雨中コロナ問題を前提として、おもに送電線を模擬した電極配置を用い、電線に1滴だけの水滴が付着する状態を作り、電圧印加時の水滴形態の変化およびコロナパルスを、試作した“複レンズ流しカメラ”を用いて同期撮影し、また水滴がある場合のコロナ開始電界強度の測定、シンクロスコープによる水滴コロナパルスの観測などを行ってきたので、いままでの結果をとりまとめて報告する。

## 2. 実験装置

第1図のように導体管対導体平板の電極配置を用い、導体管の中央に1mmφの穴を1個所あけ、水そ



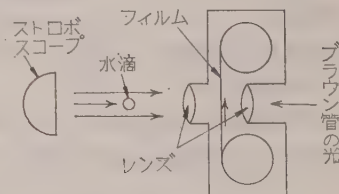
第1図 実験装置

うより水を導いて水滴をたらすか、または導体管の上70cmの所に設けた小さな水そうより、注射針から小水滴を導体管上に滴下させて、導体管より水がたれるようにした。このほかに導体管よりたれる水滴の形を模擬した金属針を取り付けた状態で補助実験を行った。

電源としては、交流には100kV、0.1A、直流には±100kV、3mA定格のものをを用いた。

電圧は水そうと大地間に印加し、平板と大地間にそう入した抵抗からコロナパルスを取り出した。この抵抗はコロナパルスの検出、非パルス成分の観測には15kΩを用い、波形観測には500Ωを用いた。

試作した“複レンズ流しカメラ”は第2図のように水滴撮影用と波形撮影用の2個のレンズを設け、その間を秒速約3mで



第2図 複レンズ流しカメラ

フィルムが走るように作った。水滴は約300回/sで点灯するストロボスコープの光を、拡散光として背後から照射し、水滴の影をフィルム面上半部に写した。(ストロボスコープ1回の点灯時間は約25μs) 一方、抵抗より取り出したコロナパルスは60c/s成分を除くため、増幅器(100c/s~6Mc)に高域フィルタを組み合わせ増幅し、ブラウン管に加え、この波形をフィルム下半部に記録させた。

このストロボスコープ(300回/s点灯)は、水滴形態を反射光で撮影するには光量が不十分である。そこで一般写真用のストロボ放電灯(点灯時間約1ms)を用い、外部トリガパルスで点灯するよう一部改造して

\* Corona Pulses from a Water Drop on a Cylindrical Conductor Surface. By Y. SATOH, Member, Y. TSUNODA, Member & K. ARAI, Member (Faculty of Engineering, Kobe University).

†<sup>1</sup> 神戸大学工学部教授 (昭和36年9月現在東洋大学工学部教授)

†<sup>2</sup> 神戸大学工学部助教授

†<sup>3</sup> 神戸大学工学部助手



用いた。

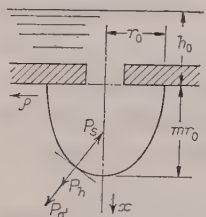
水滴コロナパルスおよびその非パルス成分の測定にシンクロスコープ（直流～30 Mc）を用いたが、その際掃引開始のパルスでストロボスコープを点灯させ、そのときの波形と水滴形態の対応を確認した。

なお、導体管としては直径 4.8, 9.6, 15.8 mmφ の銅管および導水管をつけた銅平板を用いたが、下部電極とのギャップを 100 mm にとった場合、実際の送電線の周囲電界強度との差の程度を知るため、各直径の管（以下電線とも称する）について次の数値を計算した。すなわち電線表面の電界強度（下側の表面） $E_s$  に対するその表面から 5 mm, および 10 mm 離れた点の電界強度との比 ( $E_5/E_s$ ,  $E_{10}/E_s$ ) を、電線対平板の距離を 100 mm, および無限大にとった場合について計算し、両者を比較すると 5 mm の点では 2% 以下、10 mm の点では 4% 以下の相違で、水滴が問題となる領域では大きな差はなく、水滴のふるまいは同一直径の場合、送電線の場合にある程度類似するといえる。

### 3. 水滴の変形

第 1 図で示した給水系統における水滴の変形に寄与するものとしては、水そうの水頭と水滴重量による圧力  $P_h$ 、水滴の表面張力による圧力  $P_s$ 、それに電圧を印加した場合、水滴の表面電荷により生ずる圧力  $P_\sigma$  などが考えられる。このほかに接触角の問題、流動の際の粘性、摩擦抵抗なども関連するが、ここでは簡単にするため  $P_h$ ,  $P_s$ ,  $P_\sigma$  および (1) 式で与えられる  $P$  の考察にとどめる。

$$P = P_h + P_\sigma - P_s \dots\dots\dots (1)$$



第 3 図 水滴模型 板下面までの高さを  $h_0$ 、水滴の回転半径方向の座標を  $\rho$ 、垂直方向を  $x$  軸にとり、任意の水滴面までの平板下面からの距離を  $x$  とし、 $g$  を重力の加速度とすると、各圧力は (2) 式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} P_h &= dg(h_0 + x), & P_\sigma &= \sigma^2/2\epsilon_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

$$P_s = T(1/R_1 + 1/R_2)$$

ただし、 $d$ : 水の密度、 $T$ : 水の表面張力、

$R_1, R_2$ : 水滴表面  $x$  点の主曲率半径、 $\sigma$ :

### 表面電荷密度

簡単にするため水滴の形を回転だ円体と考え、その  $x$  軸半径を  $mr_0$ 、 $\rho$  軸半径を  $r_0$  とすると、それは (3) 式で表わされ、このとき  $x$  点の主曲率半径は (4) 式となる。

$$x^2/(mr_0)^2 + \rho^2/r_0^2 = 1 \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= m^2 r_0 \{1 - (x/mr_0)^2 N^2\}^{3/2} \\ R_2 &= r_0 \{1 - (x/mr_0)^2 N^2\}^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

ただし、

$$N = \{1 - 1/m^2\}^{1/2}$$

したがって表面張力による圧力  $P_s$  は (5) 式となる。

$$\left. \begin{aligned} P_s &= \frac{T}{r_0 M} \left\{ 1 + \frac{1}{m^2 M^2} \right\} \\ M &= \{1 - (x/mr_0)^2 N^2\}^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

ただし、

次に、(6) 式で表わされるだ円体導体が、 $x$  軸方向の平等電界  $E_0$  中にある場合、その表面電荷密度  $\sigma$  は (7) 式で与えられる。<sup>(9)</sup>

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \epsilon_0 p E_0 x / a^2 A \\ A &= \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{du}{(a^2 + u) R(u)} \\ R(u) &= \sqrt{(a^2 + u)(b^2 + u)(c^2 + u)} \\ 1/p &= \sqrt{x^2/a^4 + y^2/b^4 + z^2/c^2} \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

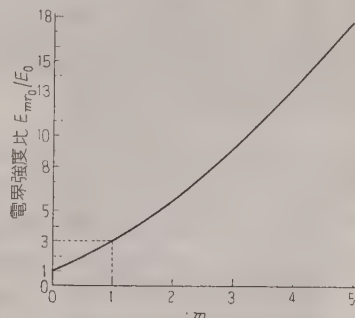
したがって (3) 式を用いて  $\sigma$  を求めると (8) 式となる。

$$\sigma = \epsilon_0 E_0 \left\{ \frac{x}{r_0 M} \right\} \left\{ \frac{N^2}{(\tanh^{-1} N)/N - 1} \right\} \dots (8)$$

したがって水滴先端 ( $x = mr_0$ ) の電界強度  $Emr_0$  と、周囲電界強度  $E_0$  との比は (9) 式となる。

$$\frac{Emr_0}{E_0} = \frac{m^2 N^2}{(\tanh^{-1} N)/N - 1} \dots\dots\dots (9)$$

この回転だ円体の半径比  $m$  と  $Emr_0/E_0$  の関係を



第 4 図 だ円体半径比  $m$  -  $Emr_0/E_0$  特性

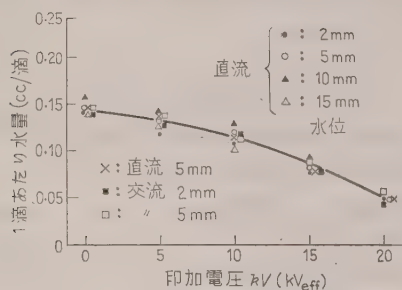
求めると第4図となる。そこで  $P_0$  は (10) 式となる。

$$P_0 = \frac{\epsilon_0 E_0^2}{2} \left\{ \frac{x}{r_0 M} \right\}^2 \left\{ \frac{N^2}{(\tanh^{-1} N)/N - 1} \right\}^2 \dots (10)$$

これらの式を用いた考察例は (4・2) 節で述べる。

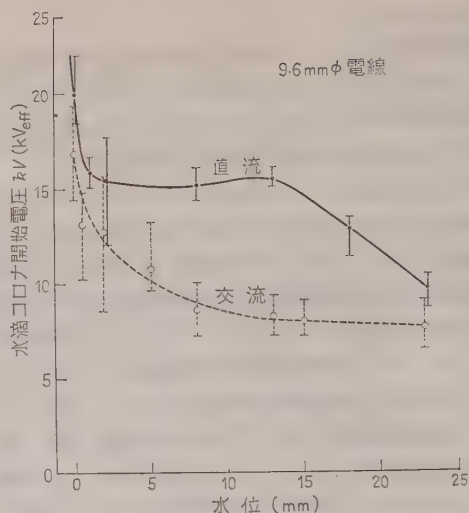
#### 4. 実験結果

(4・1) 水滴の滴下、水滴コロナ開始電界強度 実験に用いた装置における水滴滴下状態を知るため、無電圧時および電圧印加時の水滴滴下数、滴下量を測定し、1滴あたりの水量を求めると、第5図のようになった。水滴滴下数は一定水位において電圧とともに増し、ついには無限大、すなわち連続的流れとなる。しかし1滴あたりの水量は電圧上昇に対し減少するので、単位時間あたりの滴下量は電圧変化に対しほぼ一定である。この1滴あたりの水量は一定電圧のもとでは水位変化に対しあまり変化しない。このような小さな穴から滴下する液体の流出速度と滴下状態との関係については、(ただし無電圧の場合) 棚沢、豊田両氏の研究<sup>(10)</sup>があり、水滴の滴下周期  $\tau_d$  の変化に対する1滴下水量は  $\tau_d$  のある臨界値  $\tau_{dc}$  以上ではほぼ一定で、 $\tau_d$  以下になると急激に低下することが報告されている。したがって電圧を印加した場合もある程度この関係が満たされているといえる。また一般に電圧印加に伴う水滴滴下現象では、印加電圧の交流、直流およびその極性による変化はみられず、これらの値に対し直流の電圧値と交流の電圧実効値とが対応する。



第5図 1滴下あたり水滴量-電圧特性

次に水位を変化し、種々の銅管および平板電極に直流正、負および交流電圧を印加し、コロナパルス発生の有無により水滴コロナ開始電圧を測定した。この結果の例 (9.6mmφ) を第6図に示す。電極が金属と異なり流動するため、測定値にはかなりのばらつきがある。直流印加の場合はコロナパルスの開始電圧になると急激に滴下ごとにパルスが発生するが、交流印加の場合は、コロナパルス開始電圧になっても、水滴の滴下回数ごとにパルスが一度程度しか出ないので測定が比較的困難で、その結果いっそうばらつきの幅が広が



第6図 水滴コロナ開始電圧-水位特性

ったものと考えられる。これは水滴成長変形過程と電圧瞬時値の変化とが複雑に組み合わせられるために起るものと思われる。

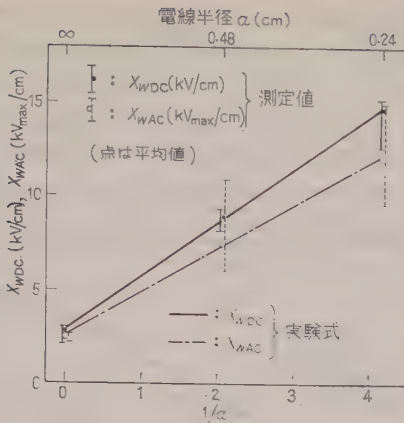
水位を2mm程度以下に下げると、水滴は落下しにくくなってゆき、コロナパルス開始電圧は急激に上昇する。一方、水位を15mm以上に上げると水滴は滴下状態より連続的流れの層流状態へ移行してゆくため直流印加の場合コロナ開始電圧は低下してゆく。交流の場合、この傾向が顕著にはみられない。これは電圧瞬時値の変化に応じて  $P_0$  が変化するため、水流の層流化が妨げられ、乱流状態で流下しているためと考えられる。この中間の水位では水滴は滴下状態を示し、水滴コロナ開始電圧はほぼ一定である。銅管の穴を上向きとして水を滴下させた場合、水位をある程度以上上げても水は滴下状態を示し、このときの水滴コロナ開始電圧一定の水位範囲も広がることから、水が1滴ずつ滴下する状態では、水滴コロナ開始電圧はほぼ一定であるといえる。その開始電圧は直流の正と負の差および交流の正位相と負位相の差、などの極性による差はみられなかった。

そこで4.8mmφ、9.6mmφおよび平板の測定結果より、水滴滴下範囲における水滴コロナ開始電圧を水滴がないと仮定した場合の電線および平板の表面電界強度に換算し、電線半径  $a$ (cm) 対水滴コロナ開始電界強度  $X_{WDC}$ ,  $X_{WAC}$  の特性を描くと、第7図となった。図には平均値およびばらつきの幅を示した。これらの結果の平均値に適合する実験式を求めると (11), (12) 式のようにになった。

直流の場合

$$X_{WDC} = 2.73(1 + 1.05/a) \text{ (kV/cm)} \dots (11)$$



第 7 図 水滴コロナ開始電界強度 ( $X_{WDC}$ ,  $X_{WAC}$ )

交流の場合

$$X_{WAC} = 2.50(1 + 0.92/a) \text{ (kV}_{\text{max}}/\text{cm)} \quad (12)$$

ただし,  $a$ : 電線半径 (cm)

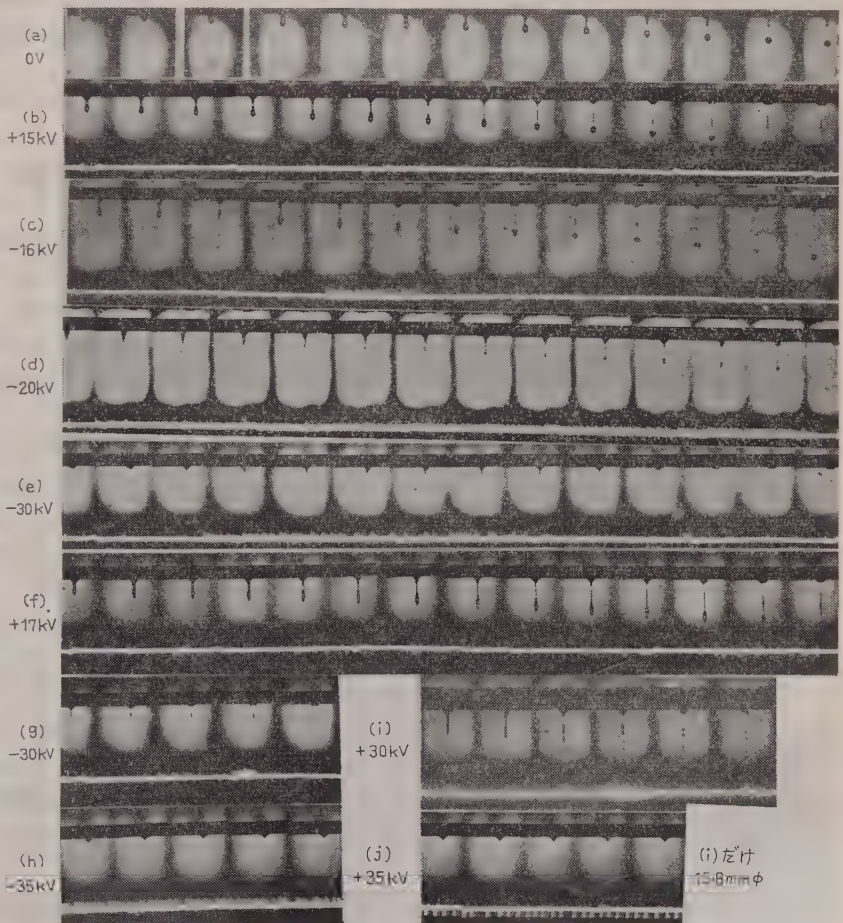
相対空気密度, その他の補正項ははらう幅が広い場合、この開始電圧よりも電圧を上昇してゆくと数滴下に一度のパルス発生から、次第に滴下ごとのパルス発生へと変わってゆく。この変化は徐々に起きるため、直流開始時と同様な滴下ごとのパルスが生じる電圧としては明確なデータは得られなかったが、交流電圧実効値が直流の水滴コロナ開始電圧程度になったとき、そのような状態になることを観測した。この (11), (12) 式を Peek 氏のコロナ開始電界強度の式と比較すると、平等電界 ( $a \rightarrow \infty$ ) における値が 1/10 近くまで

低下し、電線径の影響は Peek 氏の式では 1/2 乗できているの対し、この水滴の場合では 1 乗できている。そして、その係数も 3 倍あまり大となっている。これは電線径によって水滴の付着状態が変わること、およびコロナパルス開始時の条件は、電線より数ミリメートル離れた水滴先端の位置、すなわち管径による電界強度減衰の程度の差がよく現われる点によって決まることなどを物語っているものといえる。

したがって水滴コロナ開始電界強度は、単に Peek 氏の式その他の類似の式にある表面係数を掛けただけでは不十分であることは明白である。

$X_{WDC}$  にくらべ  $X_{WAD}$  が低いことは、交流印加時、直流印加時よりも水滴変形過程が複雑となるため、数回滴下するうちにはコロナ開始に適当な水滴面上の突起が生ずる機会のできるためと考えられる。

(4・2) 水滴変形とコロナパルス 複レンズ流シカメラによる水滴形態変化とコロナパルスの撮影結果の



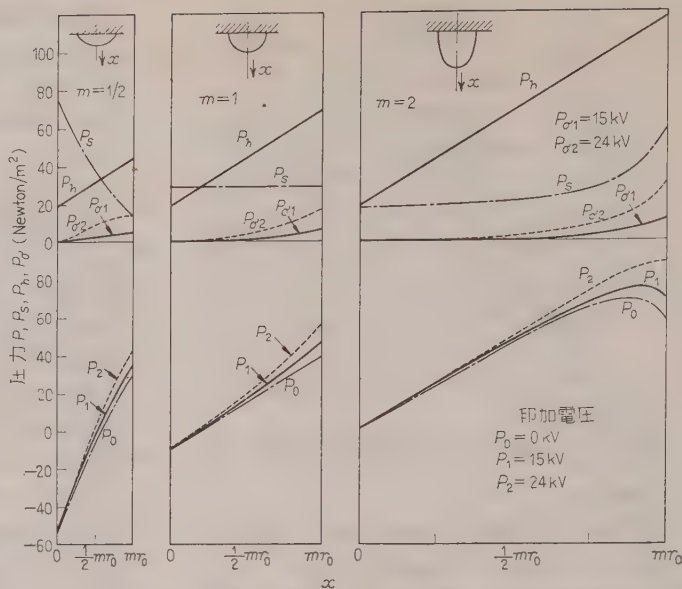
第 8 図 水滴とコロナパルス (直流印加) (9.6 mmφ)

例を第8図に示す。この水滴形態は約1/300 s 間隔で、写真の左から右へ時間的変化を示すもので、水滴の下側の基線にコロナパルスが乗っている。パルスは上向きのが負パルスで、下向きのが正パルスである。基線には60 c/s の180°ごとのマークを入れている。これは交流印加時、高圧変圧器二次側電圧の10°および190°の位相を示している。なお撮影条件によってストロボ点灯ごとにその点灯パルスが基線に重なっている場合もある。〔第8図(b)~(g), (i)〕ここに示した写真はおもに9.6 mmφ銅管の場合で、水位は2~10 mm 程度の水滴滴下範囲内の撮影例である。

さきに求めた  $P_h$ ,  $P_s$ ,  $P_o$ ,  $P$  について、ここで実際に近い値を入れて、 $x$  に対する変化を求めると第9図のようになった。水位  $h_0$  としては2 mm,  $\rho$  方向半径  $r_0$  として5 mm の値をとり、 $d=1,000 \text{ kg/m}^3$ ,  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $T=0.0735 \text{ N/m}$  とし、第1図電極配置において9.6 mmφ銅管を用い、印加電圧を15 kV, 24 kV とした場合、 $m=1/2, 1, 2$  のおのおのの場合の水滴先端の位置における、水滴が存在しないと仮定したときの電界強度を  $E_0$  の値にとった。

この電線対平板の電極配置の場合、水滴の問題となる電線周囲の電界は、(7) 式的前提のように平等ではないので、第9図の結果を以下の実験例に直ちに適用することはできないが、定性的考察には役立つ。ただし、 $P_h$ ,  $P_s$  については導体径がある程度以上の場合大差ないものと思われる。

「無電圧」の場合の水滴変形を第8図(a)に示す。水滴がへん平な場合、( $m < 1$ ) 第9図のように水滴の付根あたりでは内向きの力が働き、 $x$  が大になるにつれて外向きの力となり先端で最大となる。このような圧力分布によって水滴が変形し、半球状 ( $m=1$ ) に近い形になれば、 $P_s$  は全面にわたって一定となり、 $\partial/\partial x \cdot (P_h - P_s)$  の値は  $m < 1$  の場合より小さくなる。このとき  $P_0$  は  $x$  に対し直線的に変わり、やはり水滴の先端で最大である。水滴がさらに伸びると、( $m > 1$ )  $P_s$  が先端で特に強くなる結果、 $P_0$  の最大値は先端より  $x$  の小なるほうへずれてくる。したがって、その圧力分布によって水滴は完全な回転円体よりも先端が平くなったような形で伸びる傾向を持つ。そして給水速度と水滴成長速度との関係から、水滴はくびれ、



第9図 水滴面、圧力分布特性

先端の主滴と管への残滴とに分離、落下し次の成長過程が始まる。

「コロナ開始寸前の電圧印加時」を第8図(b)に示す。この場合は  $P_h$ ,  $P_s$  のほかに  $P_o$  も加わるため、無電圧時よりも  $x$  軸方向に伸びようとする力が強く働き、第9図のように、 $P_o$  の分布は特に水滴先端で強くなっているため、給水速度に対して水滴の伸びが速く、主滴が充分大きくならないうちに引き伸ばされ、また主滴部が小さいため、長く伸ばされたのち分離し、主滴とそれに続く水柱部分が細かな水滴に分裂しながら落下している。この状態の水滴変化は直流正、負とも同様である。

負コロナパルス発生時 電圧を上げると  $P_o$  はいっそう強くなり、細長く主滴が伸び第8図(c)のように、その伸びがある長さに達すると先端がとがり、コロナパルスが出始め、いっそう伸びて主滴が分離するまでパルスが続く。電圧をいっそう上げると水滴先端が先鋭化し始めて、パルスが出るときの水滴長さが第8図(d)のように短くなってゆき、1滴下あたりのパルス発生期間の比率が増してゆく。電圧がいっそう上がると、水滴が伸びた際、大きなパルスのひん度はむしろ減少気味となり、その間に小さなパルスが混合する。〔第8図(e)〕また主滴が分離後、先端が特に鋭くなった状態でパルスの見られる場合もある。〔第8図(g)〕

正コロナパルス発生時 水滴の変形過程はほとんど負の場合と同様で、水滴が伸び、先端が先鋭化してパルスが出始める。しかしパルスの出方は負の場合と

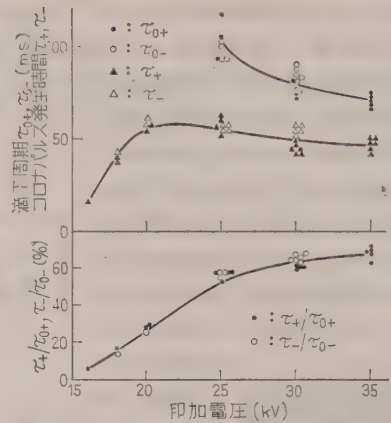


は特に異なり、先鋭化開始時および主滴の分離時前後においてパルスがいくらか見られるが、その中間ではひん度少なく、ほとんどパルスの見られない場合もある。〔第8図(f)〕この状態をシンクロスコープで観測すると第15図のように水滴先鋭化時より非パルス成分が増加、または一定値で生じ、それにストリーマパルスが重なっている。これは English 氏<sup>(7)</sup>が Spray pulse と名づけているものに類似しているが、これは Spray によるものでなく、先鋭化した水滴先端からバーストパルスが生じ、そのバーストパルスにより生じる正イオンによってストリーマパルスはその発生が困難になり、適当な条件が満たされた瞬時だけにストリーマパルスが発生し、重なったものと考えられる。このパルスの出方の傾向は電圧を上げても同様である。なお、水柱が分離後、その端部が特に鋭くなり、パルスが生じる状態が見られる〔第8図(i)〕のは負と同様であるが、その先鋭化は負の場合と逆に水柱後端で生じている。

残滴と分離後の水柱部は、微小水滴に分裂しながら落下してゆくが、その最後端にできる微小水滴がある程度小さく、その分離時の位置が残滴よりあまり離れていなければ、それは逆に残滴に向かって上昇し、そのときパルスの生じる現象も見られた。

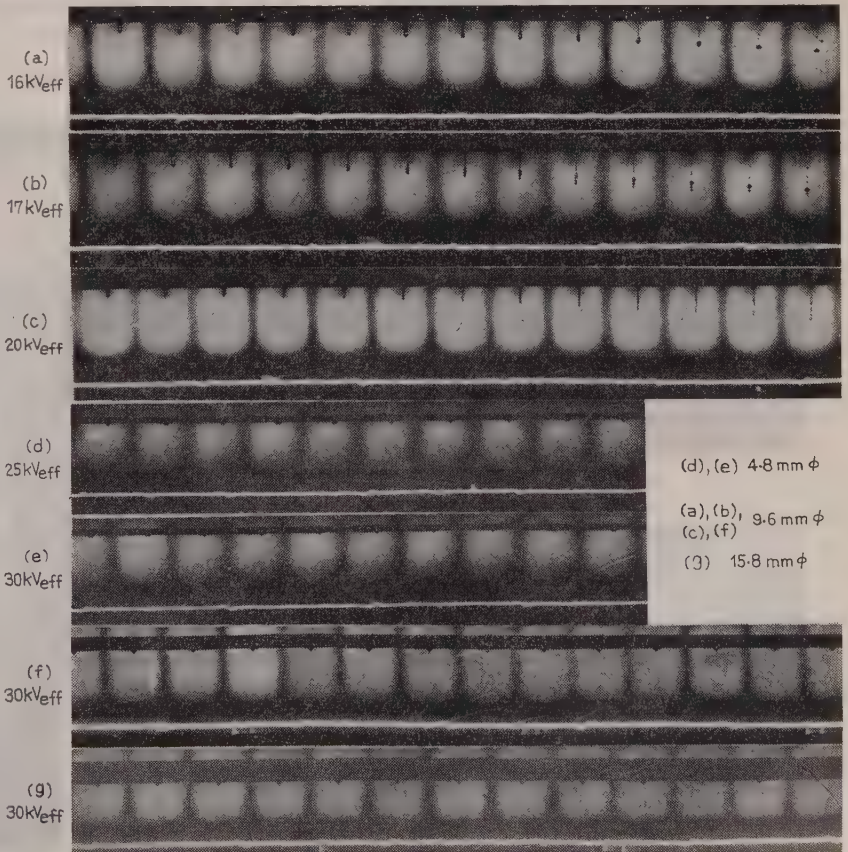
水位を零またはそれ以下に下げ給水量を極度に少なくすると、ある電圧以下では水滴を放出したのちの残滴は回転だ円体状に付着したままパルスを発生しないが、電圧が高くなると、この残滴は逆円すい状にほとんど固着して、ほぼ一定のひん度でパルスを出し続ける。〔第8図(h), (j)〕

一定水位において、印加電圧に対する水滴滴下の一周期



第 10 図 コロナパルス発生時間比率 ( $\tau_+/\tau_0^+$ ,  $\tau_-/\tau_0^-$ )

の時間  $\tau_0^+$ ,  $\tau_0^-$ , その内のコロナパルスの出ている時間  $\tau_+$ ,  $\tau_-$  などの変化および  $\tau_+/\tau_0^+$ ,  $\tau_-/\tau_0^-$  の変化を図示すると第10図となる。滴下周期は電圧上昇に対し小となり、最終的に零となる。その間のパルス発生時間率は大きくなり、最終的には 100% となる。こ

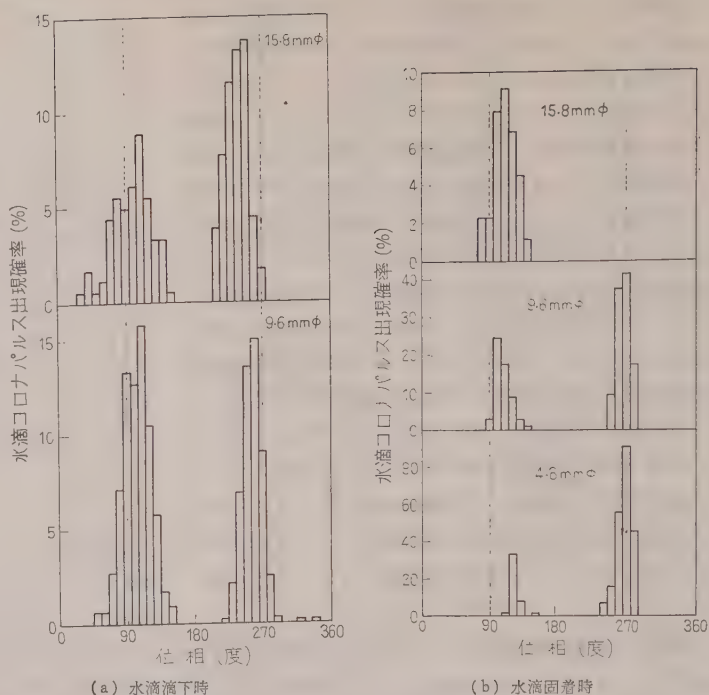


第 11 図 水滴とコロナパルス (交流印加)

れらには正、負の顕著な差はない。

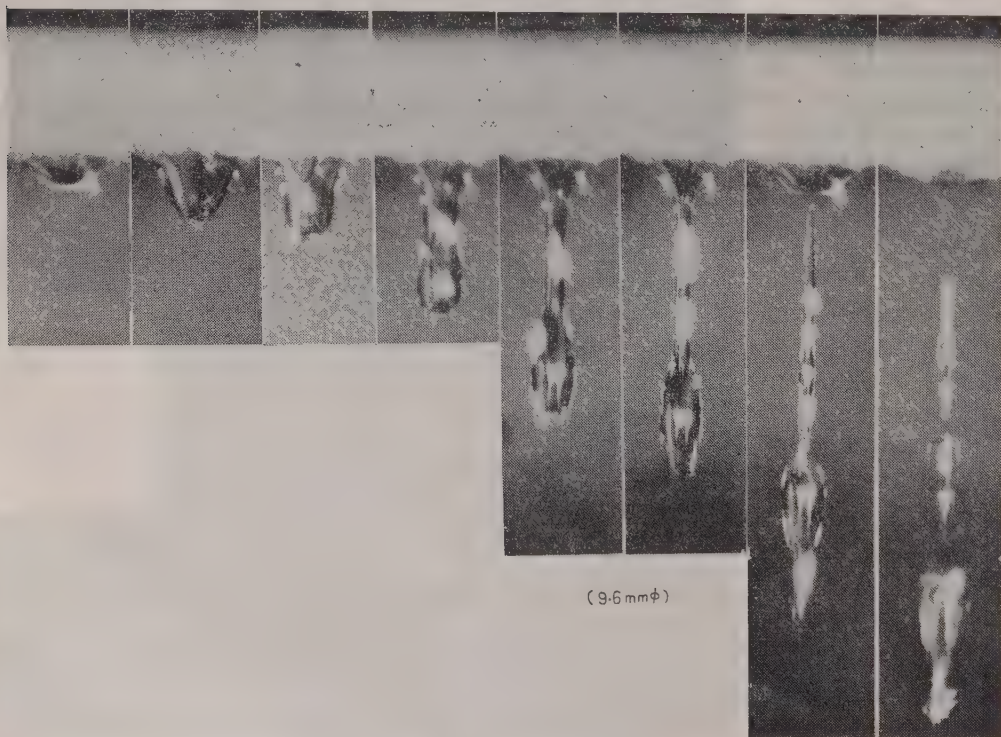
交流印加時 滴下ごとにコロナパルスを生じる電圧よりも低い印加電圧範囲では、水滴の成長変形は直流印加の場合と顕著な差はないが、〔第 11 図 (a)〕パルスが滴下ごとに出る状態になると 60 c/s の電圧瞬時変化の影響を受け、直流印加の場合よりも不規則となる。電圧上昇に応じてパルス開始時の水滴長さが短くなる傾向、および負の位相では連続的なパルスの発生が多く見られ、正の位相ではパルス発生ひん度少なく、単一パルスが多く見られる傾向などは直流の場合と類似している。〔第 11 図 (b), (c)〕

印加電圧の位相幅  $10^\circ$  の間にコロナパルスが出現しているサイクル数を、フィルム全サイクル数で割った位相変化対パルス出現確率の分布を描くと第 12 図(a) となる。すなわち、パルス出現確率最大の位相は正では  $100^\circ \sim 110^\circ$ 、負では  $250^\circ \sim 260^\circ$  で、著者のひとりが前に発表した<sup>(11)</sup>



第 12 図 水滴コロナパルス出現確率

金属針対平板電極における正ストリーマパルスの発生は、主として  $90^\circ$  よりも進んだ位相で出るという傾向



第 13 図 水滴変形 (交流 17 kV<sub>eff</sub>)



とは異なっている。

水の供給を極度に少なくすれば、直流の場合と同様にある電圧以上で水滴は逆円すい状に固着してコロナパルスを出し続ける。この場合交流では 60 c/s の電圧瞬時値変化に応じて、水滴先端はわずかな先鋭化、鈍化をくり返し、ほぼ一定位相でパルスを出し続ける。4.8 mmφ の場合、比較的低い電圧では負の位相だけにパルスが生じ、正の位相では全然パルスが出ない。そして水滴先端は各半サイクルの前半 ( $0^\circ \sim 90^\circ$ ,  $180^\circ \sim 270^\circ$ ) では鈍化し、後半 ( $90^\circ \sim 180^\circ$ ,  $270^\circ \sim 360^\circ$ ) では先鋭化している。〔第 11 図(d)〕電圧を高めると水滴先端はやはり各半サイクル後半で鋭くなっているが、前半でもそれほど鈍化はせず、その先端の位置が正負の位相変化に応じて右、左に傾き振動し、正、負ともにパルスを生じている。〔第 11 図(e)〕

9.6 mmφ の場合は印加電圧が低いとき、正の位相でパルスが生じ、各半サイクルの後半部でやはり先鋭化し、前半では鈍化している。〔第 11 図(f)〕電圧を上げると 4.8 mmφ の場合と同様、水滴は左右にふれ、正負ともにパルスが生じる。さらに電圧を上げるとパルスは負側だけとなり、正位相後半では先鋭化していないのに対し、負位相後半には先鋭化している。また印加電圧が同じでも水滴付着状態の微妙な差によって、負側パルスだけが生じる場合と正側パルスも混る場合とがあった。15.8 mmφ になるとパルスは正側に生じ、パルス発生後の水滴が先鋭化している。〔第 11 図(g)〕これらの水滴先端先鋭化、鈍化の現象は、パルス発生後水滴先鋭化が多く見られることより、正パルス発生後は負イオン、負パルス発生後は正イオンの効果が強く働いて水滴が先鋭化し、次のサイクル前半までそのイオンが残留して各半サイクル前半部では水滴を鈍化させていると考えられる。このような状態における位相とコロナパルス出現確率を求めると第 12 図 (b) となる。すなわち電線径が 4.8 mmφ の場合は負パルスの生ずるひん度が正パルスよりもかなり高く、9.6 mmφ になると、正側パルスもかなり発生ひん度を増し、15.8 mmφ になると正側パルスも多くなる。

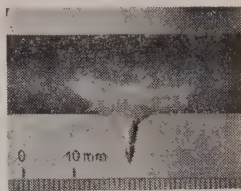
これらの現象は金属針対平板電極に交流電圧を印加した場合、正ストリーマパルスの発生は、その針電極の太さ、電極ギャップなどによって、ある限定された電圧範囲においてだけ生じることや、<sup>(11)</sup> 針電極の頂角が鋭くなれば負のコロナパルスだけが生じ、頂角が大になれば正負ともにパ

ルスを生じ、半球状になれば正だけにパルスが生じること<sup>(12)</sup>と類似点がある。すなわち、電線半径と水滴形態によって決まるその先端付近の電界強度分布がある条件に達したとき、正コロナパルスが生じやすくなる。

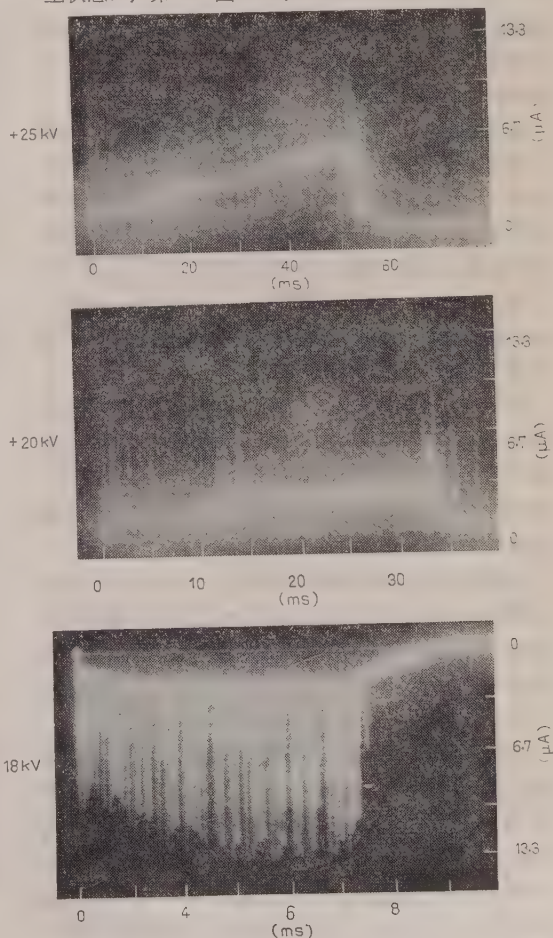
以上の複レンズ流しカメラによる水滴写真は、影を写したものであるが、ストロボ放電灯の反射光による撮影結果を第 13 図に示す。この写真の多くの輝点は水滴面によるストロボの光の反射によるもので、点灯時間が約 1 ms で比較的最長い時間、少し輝点が流れている。

#### (4・3) コロナパルス波形

水滴およびそれを模擬した金属針(第 14 図)のコロナパルス波形を、シンクロ스코ープにより観察した。水滴が先鋭化してから主滴が分離するまでのパルス発生状態は、第 15 図のよう



第 14 図 金属針電極



第 15 図 水滴コロナパルス波形

に、非パルス成分に正ストリーマパルスまたは負パルスが重なっている。正電圧印加時、非パルス成分の開始時と終止時だけにストリーマパルスが生じ、その中間はバーストパルスだけの状態も見られる。水滴パルスには大きなパルスに一連の小パルスが重ね合わさった水滴特有の負パルスも見られるが、(第 17 図) 正パルス波形には水滴と金属針との間に顕著な差は認められなかった。しかしパルス波高値、発生ひん度などには明らかな相違がある。印加電圧に対するパルス波高値の変化は第 18 図のごとくである。ただし、水滴の場合は滴下時の先頭パルスの値を示してある。

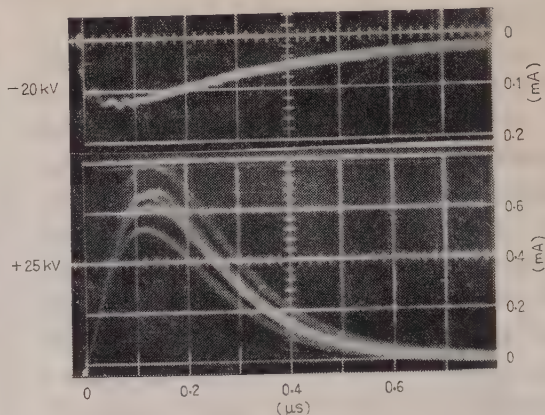
金属針の場合 直流負電圧印加時 17~18 kV よりパルスが発生し、電圧上昇に対し波高値はほぼ一定で、発生ひん度は 20~200 個/ms 以上まで電圧とともに増す。正電圧印加時は波高値は電圧上昇に対しやや減少の傾向をみせ、発生ひん度は 18~23 kV までは 0.1~30 個/ms 程度まで電圧とともに急増するが、23 kV 以上になると再び急減し 25 kV で 0.1 個/ms 程度に減少し、ついにはほとんど零となって、バーストパルスだけになる。

水滴の場合 直流負では電圧上昇に対し、波高値はほぼ一定であるが、非パルス成分発生期間におけるパルス発生ひん度は金属針の場合と異なり、3~5 個/ms 程度ではほぼ一定である。正電圧の場合は、波高値は金属針の場合と逆に電圧とともに高まり、パルス発生ひん度は 0.5~0.2 個/ms 程度で、やや減少の傾向をみせ、特に金属針のような電圧値によって正パルスが消失する領域は見られなかった。

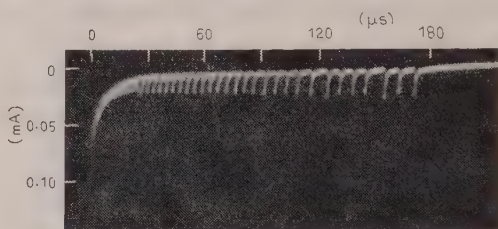
非パルス成分高さは、水滴、金属針の各正、負とも電圧上昇に対し単調に増加した。これらの水滴と金属針のパルス発生状態の相違には、水滴の場合にはその滴下によるコロナ放電休止期が存在することの効果も関連していると考えられる。

交流電圧印加時は金属針の場合、パルス発生位相幅は電圧とともに広がる傾向を持つものに対し、水滴の場合はその滴下ごとにパルス発生状況が変化し、その位相幅はパルス開始電圧のときから広いという傾向を持つ。

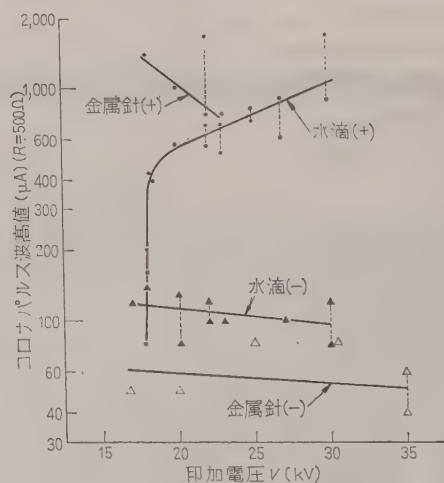
なお、水滴の場合、直流電圧印加時、コロナ開始電圧以下でも滴下ごとに微小パルスが検出された。(第 19 図) その波高値はほぼ電圧値に応じて増し、印加電圧の正、負による差はほとんどなかった。そしてコロナ開始直前の波高値はコロナ開始時の負パルス波高値の数分の一であった。この微小パルスは水滴の分離によって持ち去られる電荷によるものと考えられる。



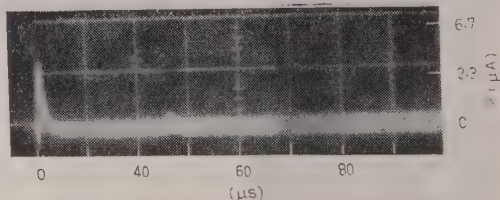
第 16 図 水滴コロナパルス波形



第 17 図 水滴負パルス波形



第 18 図 コロナパルス波高値特性 (水滴コロナと金属針コロナ)



第 19 図 コロナ開始前水滴パルス (+15 kV)



## 5. 結 言

以上の水滴コロナに関するおもな結果を要約すると次のとおりである。

(1) 電線より滴下する状態における水滴コロナ開始電界強度について、次の実験式が得られた。

直流

$$X_{WDC} = 2.73(1 + 1.05/a) \text{ (kV/cm)}$$

交流

$$X_{WAC} = 2.50(1 + 0.92/a) \text{ (kV}_{\text{max}}/\text{cm)}$$

ただし、 $a$ ：電線半径 (cm)

(2) 電線から水滴がたれ、それがあがる長さまで伸びると先端が先鋭化し、その瞬間から水滴が分離落下するまでコロナパルスが生じ、直流では負コロナパルスは、その間ほぼ一定のひん度で発生するが、正ストリーマパルスは水滴の先鋭化時と分離時に生じやすく、その中間の過程では主としてバーストパルスだけが生じている。

(3) 水の供給が少ない場合、印加電圧がある値(電線径、水滴の付着状態などにより異なる)以上になると逆円すい状となり、直流印加の場合はほとんど固着して、交流印加の場合はそのサイクル変化に応じて水滴先端がわずかに振動し、コロナパルスを出し続ける。交流では電線径が細い場合負の位相だけでパルスの発生することが多く、径が太くなると正の位相でもパルスの発生することが多くなる。

(4) 水滴正ストリーマパルスの発生電圧範囲は、水滴滴下によるコロナ放電休止期間があるため金属針の場合よりも広くなり、交流ではパルス発生位相範囲

は正、負ともコロナパルス開始時からかなり広く、金属針の場合とは異なる。

(5) 水滴コロナの正ストリーマパルスは負パルスの波高値よりも相当高い。一方、その放電持続期間の正パルス発生ひん度は、負パルスの 1/10 程度以下である。そして負パルスには大きなパルスの波尾に一連の小さなパルスが重なった水滴特有のパルスも見られる。

(6) 水滴の変形は直流電圧印加時にくらべ、交流印加時はその電圧瞬時値の変化のため複雑となり、滴下ごとのコロナパルス発生状態はやや不規則となる。

本実験に、当時学生として協力していただいた山口真一郎、水谷清忠、岡野益弘の諸氏に感謝する。

また、本研究に一部費用の援助をいただいた関西電力株式会社に感謝する。なお本研究は昭和 35 年度文部省科学研究費の補助を受けている。

(昭和 36 年 3 月 31 日受付)

## 文 献

- (1) たとえば、G.D. Lippert, et al.: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **76**, 1302 (1958)
- (2) 林・宇尾：超高压コロナ懇談会資料 4-2 (昭 33-6)
- (3) 山村・有馬：昭 34 関西支部連大 118; 山村・有馬：超高压コロナ懇談会資料 4-3 (昭 33-9)
- (4) 佐藤・角田・荒井：昭 34 関西支部連大 117
- (5) 佐藤・角田・荒井：昭 35 連大 923
- (6) 佐藤・角田・荒井：昭 36 連大 871
- (7) W.N. English: Phys. Rev. **74**, 179 (1948)
- (8) 円城寺：電学誌 **79**, 1429 (昭 34)
- (9) 谷：静電場 p. 268 (昭 17)
- (10) 棚沢・豊田：機学論文集 **20**, 299 (昭 29)
- (11) 角田：電学誌 **78**, 1357 (昭 33)
- (12) 今西・長崎：昭 35 連大 931

UDC 621.313.04

## 電気機器設計法（微増加比例法）における装荷分配

## 問題の発展と基準電磁装荷の本質について\*

資料・論文

36-123

正員 川 田 輝 明†

## 1. 緒 言

電気機器設計の基礎に関する代表的な説として竹内氏の電磁装荷分配微増加比例法<sup>(1)(2)</sup>があり、これは

$$K_0 A \delta \Phi / K_0 \Phi \delta A = \gamma, (1 < \gamma < 2)$$

の解である  $\Phi = CA^\gamma$  と、さらに  $S/f = K_0 A \Phi$  なる関係式とによって、電磁装荷  $\Phi$ ,  $A$  を決定するものである。

すなわち、磁気装荷は

$$\Phi = \phi_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{\gamma}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (1)$$

電気装荷は

$$A = A_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

によって求められる。

ただし、 $\phi_0$ ,  $A_0$  は

$$\phi_0 = \left( \frac{1}{K_0} \right)^{\frac{\gamma}{1+\gamma}} C^{-\frac{1}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (3)$$

$$A_0 = \left( \frac{1}{K_0} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} C^{-\frac{1}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (4)$$

である。

さて (3), (4) 式を変形して  $C$  を求めると

$$C = K_0^\gamma \phi_0^{1+\gamma} \dots\dots\dots (3')$$

または

$$C = K_0^{-1} A_0^{-(1+\gamma)} \dots\dots\dots (4')$$

になる。

(3') 式または (4') 式の関係において、 $C$  が  $\phi_0$  と  $\gamma$  (または  $A_0$  と  $\gamma$ ) の関数になっていることに注目すれば、 $\phi_0$  と  $\gamma$  ( $A_0$  と  $\gamma$ ) の間に微増加比例 (微減少比例) をほどこすことにより、 $\phi_0$  ( $A_0$ ) を分配定数  $\gamma$  だけの関数として置き換えることができる。

現在機器設計に際しての  $\gamma$  と  $\phi_0$  ( $\gamma$  と  $A_0$ ) の選定は、機種により  $\gamma$  を決め、 $\phi_0$  (または  $A_0$ ) は  $\gamma$

とは関係なくある範囲内の値より適宜選ばれているが、筆者が装荷の統計資料を解析した結果に基づくと  $\gamma$  の決定は直ちに  $\phi_0$  (または  $A_0$ ) の決定でなければならないことになり、装荷分配問題に関して統一ある見解を提示することができる。

そうして、 $\phi_0$ ,  $A_0$  は  $\gamma$  によって左右されるべき性質のものであるとの見方をなすことにより、機器設計上の一指針をみきわめようとしたものである。

また基準電磁装荷の本質については、依然として究明しえなかった問題であるが、筆者はこれの究明も行い、 $\phi_0$ ,  $A_0$  は

(1) 電機子スロットの空間率

(2) スロット面積の電機子ギャップ直径をもって表わされた面積に対する比

(3) 電機子巻線の電流密度

の三つに帰着するものであることにその結論を得た。

以下述べる本論はあくまでも竹内氏の「微増加比例法」にその基礎をおくものであり、装荷分配比  $C$  の運用にはじまって順次発展させていったものである。

使用される単位は引用文献との関係から特に CGS 単位を使用した。

## 使用記号

$S$ : 毎極容量 (kW または kVA)

$f$ : 周波数毎秒/100

$S/f$ : 比容量 (kW/100 c/s または kVA/100 c/s)

$K_0$ : 機器の種類によって異なる定数

$\Phi$ : 毎極有効磁束 ( $10^6$  単位)

$A$ : 毎極のアンペア回数 ( $10^3$  単位)

$\gamma$ : 分配定数

$C$ : 装荷の分配比

$\phi_0$ : 基準磁気装荷 ( $10^6$  単位)

$A_0$ : 基準電気装荷 ( $10^3$  単位)

## 2. 基準電磁装荷、装荷分配比の分配定数に対する関係

(2・1) 基準磁気装荷 (3') 式  $C = K_0^\gamma \phi_0^{1+\gamma}$  において、 $C$  は  $\phi_0$  と  $\gamma$  に関係をもっているから、 $C$  を増減させるための方法を考えてみると、

\* Improvement of the Problem of Distribution of Loading and the Basic Nature of Standard Electro-Magnetic Loading from Dr. J. T. Takeuchi's New Method of Electrical Machinery. (Proportional Increment Method). By T. KAWADA, Member (Nippon Cleaner Co., Ltd.).

† 日本クリーナー株式会社



- (1)  $\phi_0$  だけを増減させる法  
 (2)  $\gamma$  だけを増減させる法  
 (3)  $\phi_0$  と  $\gamma$  とをともに増減させる法の三つがある。

このうち (1) は  $\gamma$  を同期機、直流機、誘導機などのすべての機器を通じた定数であるとし、機器の種類によって  $\phi_0$  だけを变化させる考え方で、あたかも上田氏説<sup>(3)</sup>の  $P\phi = K_1 T^k$  において  $k$  を一定とし、 $K_1$  を機種別に選定するような方法に類似する。

(3) は機種別に  $\gamma$  がありとし、 $\gamma$  の変化とともに  $\phi_0$  も変化するという考え方で、竹内氏が示された統計結果は実はこの場合に相当している。

したがって  $C$  を変化させるための方法としては (3) を採用するのが適当ようである。

(3) の方法を採用した場合、 $\phi_0$  と  $\gamma$  がいかなる割合におのおのを増減させているかが問題になってくる。いま (3') 式において

$\phi_0$  を  $d\phi_0$  増加させれば  $C$  は  $\frac{\partial C}{\partial \phi_0} d\phi_0$  増加し

$\gamma$  を  $d\gamma$  増加させれば  $C$  は  $\frac{\partial C}{\partial \gamma} d\gamma$  増加する

よって、この二つの微増加分の間に一定の比を保つような比例定数  $k_1$  が存在するものと仮定すれば

$$\frac{\partial C}{\partial \phi_0} d\phi_0 = k_1 \frac{\partial C}{\partial \gamma} d\gamma \dots \dots \dots (5)$$

とおくことができる。

(3') 式と (5) 式により

$$\frac{\partial C}{\partial \phi_0} = K_0^\gamma (1+\gamma) \phi_0^\gamma$$

$$\frac{\partial C}{\partial \gamma} = K_0^\gamma \phi_0^{1+\gamma} (\log_e K_0 + \log_e \phi_0)$$

であるから

$$(1+\gamma) d\phi_0 = k_1 \phi_0 (\log_e K_0 + \log_e \phi_0) d\gamma$$

これを解くと

$$\log_e (K_0 \phi_0) = c_1 (1+\gamma)^{k_1}$$

ただし、 $c_1$ : 積分定数

ゆえに

$$\phi_0 = \frac{1}{K_0} \varepsilon^{c_1 (1+\gamma)^{k_1}} \dots \dots \dots (6)$$

ここに  $\varepsilon$ : 自然対数の底

(2.2) 基準電気装荷 同様にして (4') 式について解けば

$$A_0 = \varepsilon^{-c_1 (1+\gamma)^{k_1}} \dots \dots \dots (7)$$

(2.3) 装荷分配比 (6) 式を (3') 式に、または (7) 式を (4') 式に代入すれば  $C$  の  $\gamma$  に対する関係が得られる。

$$C = \frac{1}{K_0} \varepsilon^{c_1 (1+\gamma)^{k_1+1}} \dots \dots \dots (8)$$

(2.4)  $k_1$ ,  $c_1$  の定数値の決定 (6)~(8) 式の定数値  $k_1$ ,  $c_1$  を決定するために竹内氏が統計の結果得られた諸定数 (第 1 表) をみると、 $\gamma$  が小さくなると  $\phi_0$  は小さく、 $A_0$  は逆に大きくなっている傾向にある。

第 1 表 装荷分配微増加比例法定数  
 (竹内氏: 電気機器設計学による)

機器の種類	定数 $C$	$\gamma$	$\frac{\gamma}{1+\gamma}$	$\frac{1}{1+\gamma}$	$\phi_0$ ( $\times 10^3$ )	$A_0$ ( $\times 10^3$ )	$K_0$
交 流 機	0.83	1.7	0.63	0.37	0.39	0.64	4.007
直 流 機	0.7	1.5	0.6	0.4	0.375	0.662	4.028
誘導電動機	0.5	1.4	0.585	0.415	0.335	0.75	4.000
変 圧 器	0.323	1.1	0.525	0.475	0.28	0.88	4.058

よって第 1 表中  $A_0$  のいちばん小さい値と、いちばん大きい値とを選び

$$\gamma = 1.7 \text{ なるときの } A_0 = 0.64$$

$$\gamma = 1.1 \text{ なるときの } A_0 = 0.88$$

を基準にとって (7) 式により  $k_1$ ,  $c_1$  を算定することにした。

すなわち、

$$\begin{cases} 0.64 = \varepsilon^{-c_1 (1+1.7)^{k_1}} \\ 0.88 = \varepsilon^{-c_1 (1+1.1)^{k_1}} \end{cases}$$

において上式を連立方程式として解くと

$$k_1 = 4.97 \dots \dots \dots (9)$$

$$c_1 = 3.2 \times 10^{-3} \dots \dots \dots (10)$$

が得られる。

(9), (10) 式を (6)~(8) 式に代入すれば基準電磁装荷ならびに装荷分配比は分配定数の関数として次のように表わされる。

$$\phi_0 = \frac{1}{K_0} \varepsilon^{3.2 \times 10^{-3} (1+\gamma)^{4.97}} \dots \dots \dots (11)$$

$$A_0 = \varepsilon^{-3.2 \times 10^{-3} (1+\gamma)^{4.97}} \dots \dots \dots (12)$$

$$C = \frac{1}{K_0} \varepsilon^{3.2 \times 10^{-3} (1+\gamma)^{5.97}} \dots \dots \dots (13)$$

(11)~(13) 式により  $K_0 = 4$ ,  $\gamma = 1 \sim 2$  として計算した結果を第 2 表に掲げる。

(11)~(13) 式によって算出された第 2 表と第 1 表の数値を比較すると  $\gamma = 1.5$  と  $\gamma = 1.4$  において差がある。

これは  $\gamma = 1.7$  と  $\gamma = 1.1$  の  $A_0$  を基準に用いて  $k_1$ ,  $c_1$  を決定したことによるものであるから (5) 式にしたがうものとするならば、竹内氏が当時統計結果より算定された  $\gamma = 1.5$ ,  $\gamma = 1.4$  の場合における  $\phi_0$ ,  $A_0$  の数字はこの際再検討してみる必要があり、竹内氏が統計された当時にさかのぼりそれを調べてみると

第2表 (11)~(13)式による計算値と  
該当している機器

定数 該当する機器	$C$	$\gamma$	$\frac{\gamma}{1+\gamma}$	$\frac{1}{1+\gamma}$	$\phi_0$ ( $\times 10^3$ )	$A_0$ ( $\times 10^3$ )
交流機	2.38	2	0.667	0.333	0.530	0.472
	1.59	1.9	0.655	0.345	0.473	0.528
	1.10	1.8	0.643	0.357	0.426	0.586
	0.836	1.7	0.630	0.370	0.391	0.640
	0.653	1.6	0.615	0.385	0.362	0.690
直流機	0.590	1.55	0.608	0.392	0.350	0.714
回転交流機*	0.536	1.5	0.600	0.400	0.339	0.738
誘導電動機	0.454	1.4	0.583	0.417	0.321	0.780
三相整流子電動機**	0.393	1.3	0.565	0.435	0.306	0.817
変圧器	0.356	1.2	0.546	0.455	0.294	0.851
	0.327	1.1	0.524	0.476	0.284	0.880
	0.305	1	0.500	0.500	0.276	0.905

(注)  $K_0=4$  として計算した, \* 付録(1) 参照,

\*\* 付録(2) 参照

### 第1表の直流機

$\gamma=1.5$  において  $\phi_0=0.375$ ,  $A_0=0.662$

はむしろ第2表のように

$\gamma=1.6$  において  $\phi_0=0.36$ ,  $A_0=0.69$

であるとしたほうが妥当であったように思われる。

### また誘導電動機

$\gamma=1.4$  における  $\phi_0=0.335$ ,  $A_0=0.75$  は

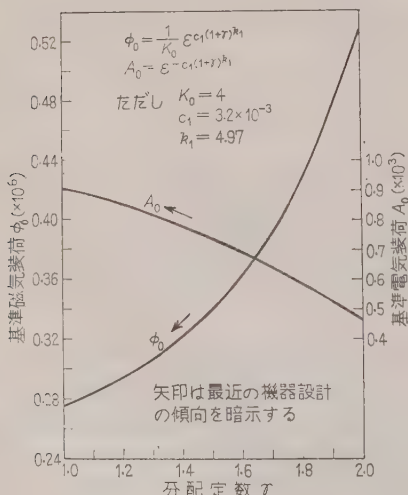
$\gamma=1.4$  において  $\phi_0=0.32$ ,  $A_0=0.78$

に数値の訂正がなされてしかるべきであるから、ここに比例定数  $k_1$  の存在は明らかとなり、(5) 式のなりたつことが証明される。

## 3. $\phi_0$ , $A_0$ のグラフとその考察

第1図は第2表をグラフに示したものである。

第2表または第1図によって  $\phi_0$ ,  $A_0$  を考察してみると、



第1図  $\gamma$  と  $\phi_0$  および  $\gamma$  と  $A_0$  の関係

分配定数  $\gamma=1 \sim 1.6$  において

$\phi_0=0.276 \sim 0.362$

$A_0=0.905 \sim 0.690$

になっている。

竹内氏の「在来の機器に比較して最近の機器の  $\gamma$  は次第に1に近づきつつある」と注意しておられることは第1図によれば、矢印のように  $\phi_0$  が次第に0.28に近づきつつあるということにほかならない。

すなわち、最近の機器は  $A_0$  を大きく、 $\phi_0$  を小さくとして設計されている傾向にあるが、これは設計製作技術の進歩、材料およびその処理、冷却法などの発達により次第に完全相似性に近づいていることを示唆しているのではなからうか。

もちろん第2表は竹内氏が統計により示された当時の資料に基づき  $k_1$ ,  $C_1$  を決め、[(9), (10) 式] それによって求めた  $\phi_0$ ,  $A_0$  であるから最近の機器との比較をなす場合には、最近の機器としての  $k_1$ ,  $C_1$  を知る必要がある。

特に完全相似性に近く設計された機器の  $\phi_0$  または  $A_0$  は  $k_1$ ,  $C_1$  を算定する場合に使用して意義があるばかりでなく、 $\gamma=1$  における  $\phi_0$  ( $A_0$ ) の採用しうる数値的限度が一般類似性の採用しうる  $\phi_0(A_0)$  の数値的限度をある程度規定することになるから、完全相似性に近い機器の現今における  $\phi_0(A_0)$  の探知は以上の点からみて非常に重要である。

## 4. 電磁装荷 $\phi$ , $A$ の分配に関する考え方

機器の定格、体格、特性を支配するのは磁気装荷と電気装荷であり、これの分配は

$$\Phi = \phi_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{\gamma}{1+\gamma}}, \quad A = A_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}}$$

により行うことができる。これは緒言において述べたとおりである。そうして、 $\gamma$  と  $\phi_0$  (または  $A_0$ ) との間に関数関係が存在しないとすると、与えられた  $S/f$  に対して  $\Phi$  を決める場合、極端に考えれば  $\gamma$  を大きく  $\phi_0$  を小さく選んでも、 $\gamma$  を小さく  $\phi_0$  を大きく選んでも同一の  $\Phi$  が得られるような結果が生じてくる。

これに対して (6) 式あるいは (11) 式が示すように  $\phi_0$  が  $\gamma$  の関数になっていれば (6) 式と (1) 式から

$$\Phi = \frac{1}{K_0} \varepsilon^{c_1(1+\gamma)k_1} \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{\gamma}{1+\gamma}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

または、(7) 式と (2) 式から

$$A = \varepsilon^{-c_1(1+\gamma)k_1} \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} \quad \dots\dots\dots (15)$$



となり、 $\Phi$  (または  $A$ ) は  $S/f$  と  $\gamma$  だけによって決定されるから、この場合には至極統一された考えのもとに装荷の分配を行うことができる。

たとえば、竹内著「電気機器設計学」p.102 記載の 50 kW 直流発電機設計例の  $\Phi$  は  $\Phi=4.83 \times 10^6$  であり、これは (1) 式において  $\gamma=1.5$ ,  $\phi_0=0.318 \times 10^6$ ,  $S/f=94$  として算出されたものである。

これを  $\phi_0=0.28 \times 10^6$  で設計すれば  $\Phi=4.25 \times 10^6$   
 また  $\phi_0=0.34 \times 10^6$  で設計すれば  $\Phi=5.16 \times 10^6$   
 となるが、(ただし、 $\gamma=1.5$  とした場合) (14) 式にしたがい  $K=4$ ,  $c_1=3.2 \times 10^{-3}$ ,  $k_1=4.97$  として上記と同一の  $\Phi$  が決定できたとすれば

設計例の場合  $\gamma=1.45$  において  $\Phi=4.83 \times 10^6$

第 2 の場合  $\gamma=1.35$  において  $\Phi=4.25 \times 10^6$

第 3 の場合  $\gamma=1.51$  において  $\Phi=5.16 \times 10^6$

が得られ、単に  $\gamma$  だけにより  $\Phi$  が決定されることになる。

直流機の  $\gamma=1.5$  という従来の固定した数値はこの場合、直流機の目安として考え、この考え方は交流機、誘導機、変圧器の場合にも同じである。

交流機  $\gamma=1.6$ , 誘導機  $\gamma=1.3$ , 変圧器  $\gamma=1$  というように機種別に選定された従来の  $\gamma$  にはこだわらない。

第 3 表は竹内氏の著書<sup>(2)</sup>設計例について (14) 式を適用し、予定の  $\Phi$  を得るための  $\gamma$  を逆算してみたものである。

ただし、(14) 式における定数は  $C_1=3.2 \times 10^{-3}$ ,  $k_1=4.97$  とし、 $K_0$  は第 4 表の数値を選んだ。

装荷分配問題に対する筆者の見解は上述のように、 $\phi_0$  と  $\gamma$  (または  $A_0$  と  $\gamma$ ) はおのおの独立して存在す

第 3 表 竹内氏の設計例で算出された  $\Phi$

と同一の  $\Phi$  を得るための  $\gamma$  の値

機器の種類	定数	$\gamma$	$\phi_0$ ( $\times 10^6$ )	$\frac{S}{f}$	$\Phi$ ( $\times 10^6$ )	予定の $\Phi$ を得るた めの $\gamma$
直流発電機	50 kW	1.5	0.318	94	4.83	1.45
直流電動機	600 HP	"	0.33	533	14.5	1.49
三相交流発電機	3,000 kVA	1.6	0.29	500	13.8	1.52
三相交流発電機	15,000 kVA	"	0.26	1,250	24	"
誘導電動機 (巻線形)	75 HP	1.3	0.318	18.2	1.64	1.39
誘導電動機 (巻線形)	100 HP	"	0.32	24.6	1.91	1.37
誘導電動機 (かご形)	10 HP	"	0.276	4.8	0.635	1.15
変圧器 (単相内鉄形)	10 kVA	1	0.32	10	1.024	1.30
変圧器 (単相外鉄形)	2,000 kVA	1.1	"	4,000	25	1.21
変圧器 (三相内鉄形)	31,250 kVA	1	0.274	20,800	39.4	1.03

第 4 表  $K_0$  の値

機 種	$K_0$	機 種	$K_0$
直 流 機	4	誘 導 電 動 機	4.2
交 流 発 電 機	4.2	変 圧 器	4.4

る性質のものではなく、表裏いつたいになっているものであるという考え方にある。

なお、取り扱いの上からみた装荷の分配は機種別に  $\gamma$  を決め、 $\phi_0$  を与えて  $\Phi$  を求める従来の方法が筆者提示の方法よりも簡易で親しみやすい。

## 5. 基準電磁装荷 ( $\phi_0, A_0$ ) の本質

基準電磁装荷は分配定数によって必然的に決定されるべき性質のものであるとの前提がなされたので、以下回転機を例にとりて  $\phi_0$  と  $A_0$  の本質を究明してみたい。

### (5・1) 式の誘導 (その 1)

#### 使用記号

$D$ : 電機子ギャップ直径 (cm),  $P$ : 極数

$l_i$ : 電機子鉄心の有効長さ (cm),  $\alpha_i$ : 極弧比

$\Delta a$ : 電機子巻線電流密度 (A/cm<sup>2</sup>)

$B_g$ : 磁気比装荷 (G),  $ac$ : 電気比装荷 (AC/cm)

$S_s$ : 電機子スロット内導体の占積率

$K_s$ : (電機子のスロット面積)/(電機子のギャップ直径をもって表わされた面積)

1 極の磁束を  $\Phi$  とし、1 極の全アンペア回数を  $A$  とすれば

$$\Phi = \alpha_i \pi \frac{D}{P} l_i B_g \dots \dots \dots (16)$$

$$A = \frac{1}{2} \pi \frac{D}{P} ac \dots \dots \dots (17)$$

$$= \frac{1}{2P} S_s K_s \frac{\pi}{4} D^2 \Delta a \dots \dots \dots (18)^*$$

なる関係がある。

いま  $D/P$ ,  $ac$ ,  $B_g$ ,  $l_i$ ,  $\Delta a$  のおのおのが  $S/f$  の関数で表わされるものとして

$$\frac{D}{P} = d_0 \left( \frac{S}{f} \right)^x \dots \dots \dots (19-1)$$

$$ac = a_0 \left( \frac{S}{f} \right)^y \dots \dots \dots (19-2)$$

$$B_g = b_0 \left( \frac{S}{f} \right)^z \dots \dots \dots (19-3)$$

$$l_i = l_0 \left( \frac{S}{f} \right)^u \dots \dots \dots (19-4)$$

$$\Delta a = \delta_0 \left( \frac{S}{f} \right)^v \dots \dots \dots (19-5)$$

\* 付録 (3) 参照

とおく。

(19-1)～(19-5)式を (16)～(18) 式にそれぞれ代入して

$$\Phi = \alpha_i \pi d_0 l_0 b_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{x+z+u} \dots\dots\dots (20)$$

$$A = \frac{1}{2} \pi d_0 a_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{x+y} \dots\dots\dots (21)$$

$$= \frac{P}{2} S_s K_s \frac{\pi}{4} d_0^2 \delta_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{2x+v} \dots\dots\dots (22)$$

(1), (2) 式を再掲すれば

$$\Phi = \phi_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{\gamma}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (1)$$

$$A = A_0 \left( \frac{S}{f} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

であるから

(20)式=(1)式, (21)式=(2)式, (22)式=(2)式とおけば

$$\phi_0 = \alpha_i \pi d_0 l_0 b_0 \dots\dots\dots (23)$$

$$A_0 = \frac{1}{2} \pi d_0 a_0 \dots\dots\dots (24)$$

$$= \frac{P}{2} S_s K_s \frac{\pi}{4} d_0^2 \delta_0 \dots\dots\dots (25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x+z+u = \frac{\gamma}{1+\gamma} \dots\dots\dots (26) \\ x+y = 2x+v = \frac{1}{1+\gamma} \dots\dots\dots (27) \end{array} \right.$$

となる。

さて (25) 式を変形して  $d_0$  を求めると

$$d_0 = \left( \frac{8}{\pi} \right)^{1/2} (P S_s K_s \delta_0)^{-1/2} A_0^{1/2} \dots\dots\dots (28)$$

(28) 式を (24) 式に代入して  $a_0$  を求めると

$$a_0 = \left( \frac{1}{2\pi} \right)^{1/2} (P S_s K_s \delta_0)^{1/2} A_0^{1/2} \dots\dots\dots (29)$$

(28) 式を (23) 式に代入し, かつ  $A_0 \phi_0 K_0 = 1$  なる関係を使用して  $l_0 b_0$  を求めると

$$l_0 b_0 = \frac{1}{\alpha_i} \left( \frac{1}{8\pi} \right)^{1/2} (P S_s K_s \delta_0)^{1/2} K_0^{1/2} \phi_0^{3/2} \dots\dots (30)$$

よって (28), (29) 式の  $A_0$  を (7) 式で, (30) 式の  $\phi_0$  を (6) 式でそれぞれ置き換えれば

$$d_0 = K_d (S_s K_s \delta_0)^{-\frac{1}{2}\varepsilon} \frac{c_1}{2} (1+\gamma)^{k_1} \dots\dots\dots (31)$$

$$a_0 = K_a (S_s K_s \delta_0)^{-\frac{1}{2}\varepsilon} \frac{c_1}{2} (1+\gamma)^{k_1} \dots\dots\dots (32)$$

$$l_0 b_0 = K_{lb} \frac{1}{\alpha_i} (S_s K_s \delta_0)^{-\frac{1}{2}\varepsilon} \frac{3}{2} c_1 (1+\gamma)^{k_1} \dots\dots (33)$$

ただし,

$$K_d = \left( \frac{2^3}{\pi P} \right)^{1/2}, \quad K_a = \left( \frac{P}{2\pi} \right)^{1/2}$$

$$K_{lb} = \frac{1}{K_0} \left( \frac{P}{2^3 \pi} \right)^{1/2}$$

(5.2) (19-1)式～(19-5)式 ( $S/f$ ) の指数  $x, y, z, u, v$  の算定  $\Phi = CA^\gamma$  において, 左辺の  $\Phi$  を (16) 式で, 右辺の  $A$  を (17) 式で置き換え  $ac$  と  $D$  との関係を求めると

$$ac = 2 \left\{ \left( \frac{\pi D}{P} \right)^{1-\gamma} \left( \frac{l_i B_g \alpha_i}{C} \right) \right\}^{1/\gamma} \dots\dots\dots (34)$$

しかるに  $l_i = (0.8 \sim 1.2) \tau$  であるから

$$l_i = (0.8 \sim 1.2) \frac{\pi D}{P} \simeq \frac{\pi D}{P} \dots\dots\dots (35)$$

とおく。

(35) 式を (34) 式に代入して

$$\begin{aligned} ac &= 2 \left\{ \left( \frac{\pi D}{P} \right)^{2-\gamma} \left( \frac{B_g \alpha_i}{C} \right) \right\}^{1/\gamma} \\ &= 2 \left\{ \left( \frac{\pi}{P} \right)^{2-\gamma} \left( \frac{B_g \alpha_i}{C} \right) \right\}^{1/\gamma} D^{\frac{2-\gamma}{\gamma}} \dots\dots\dots (36) \end{aligned}$$

ゆえに

$$ac = K \left( \frac{D}{P} \right)^{\frac{2-\gamma}{\gamma}} \dots\dots\dots (36')$$

ただし,

$$K = 2 \left\{ \pi^{2-\gamma} \left( \frac{B_g \alpha_i}{C} \right) \right\}^{1/\gamma}$$

(35) 式の左辺  $l_i$  を (19-4) 式で, 右辺  $\pi(D/P)$  の  $D/P$  を (19-1) 式で置き換え等しくおくと

$$l_0 \left( \frac{S}{f} \right)^u = \pi d_0 \left( \frac{S}{f} \right)^x$$

ゆえに

$$u = x \dots\dots\dots (37)$$

(36') 式に (19-1), (19-2) 式を用いると

$$a_0 \left( \frac{S}{f} \right)^y = K \left\{ d_0 \left( \frac{S}{f} \right)^x \right\}^{\frac{2-\gamma}{\gamma}}$$

であるから

$$y = x \left( \frac{2-\gamma}{\gamma} \right) \dots\dots\dots (38)$$

(26), (27), (37), (38) 式を連立方程式として解けば

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\gamma}{2(1+\gamma)}, & y &= \frac{2-\gamma}{2(1+\gamma)}, & z &= 0 \\ u &= \frac{\gamma}{2(1+\gamma)}, & v &= \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \end{aligned} \right\} \dots\dots (39)$$

が得られる。



(5・3) (33) 式  $b_0 l_0$  の分離 (36) 式より  $B_g$  を求め  $C$  を (8) 式でおき換えると

$$B_g = \frac{ac^\gamma C}{2^\gamma \alpha_i \left(\frac{\pi D}{P}\right)^{2-\gamma}} = \frac{ac^\gamma}{2^\gamma \alpha_i \left(\frac{\pi D}{P}\right)^{2-\gamma}} \times \frac{1}{K_0} \varepsilon c_1 (1+\gamma)^{k_1+1} \dots (40)$$

(40) 式において  $D/P$ ,  $ac$ ,  $B_g$  をそれぞれ (19-1) ~ (19-3) 式でおき換え整理すると

$$b_0 \left(\frac{S}{f}\right)^z = \frac{a_0^\gamma \varepsilon c_1 (1+\gamma)^{k_1+1}}{2^\gamma K_0 \alpha_i \pi^{2-\gamma} d_0^{2-\gamma}} \left(\frac{S}{f}\right)^{y\gamma - z(2-\gamma)}$$

両辺  $(S/f)$  の指数関係は  $z = y\gamma - x(2-\gamma)$  となるが, (39) 式より  $z=0$  であるから

$$b_0 = \frac{a_0^\gamma \varepsilon c_1 (1+\gamma)^{k_1+1}}{2^\gamma K_0 \alpha_i \pi^{2-\gamma} d_0^{2-\gamma}} \dots (41)$$

上式の  $d_0$ ,  $a_0$  を (31), (32) 式でおき換えれば

$$b_0 = K_b (S_s K_s \delta_0) \varepsilon^{2c_1} (1+\gamma)^{k_1} \dots (42)$$

ただし,

$$K_b = \frac{P}{2^3 \alpha_i \pi K_0}$$

(42) 式を (33) 式に代入して  $l_0$  を求めると

$$l_0 = K_l (S_s K_s \delta_0)^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1} \dots (43)$$

ただし,

$$K_l = \left(\frac{2^3 \pi}{P}\right)^{1/2}$$

(5・4)  $r$  と  $(S_s K_s \delta_0)$  の関係 (18) 式における  $K_s$  は

$$K_s = \frac{4(h/D)}{1+(t/s)} \dots (44)$$

$h$ : 電機子スロットの深さ,  $s$ : スロットの幅,

$t$ : スロット深さ中央における歯幅

で表わされ, \* かつ

$K_s = \frac{\text{電機子の全スロット面積}}{\text{電機子のギャップ直径をもって表わされた面積}}$  であると定義することができるから,

(31), (32), (42), (43) 式における  $(S_s K_s)$  は “電機子スロット内の全導体断面積” に対する “電機子ギャップ直径をもって表わされた面積” の比であるといえる。

また  $\delta_0$  は基準電流密度とも称されるものである。

さて, (6), (7) 式が示すように  $\gamma$  が小さくなると  $\phi_0$  は小さく,  $A_0$  は逆に大きくなる。そして  $A_0$  が大きくなることは  $(S_s K_s \delta_0)$  が大きくなるからであると考えることができる。つまり

(1) 電機子スロットに収まる電機子導体の占積率が大きければ  $S_s$  は大きくなり,

(2) 電機子スロット深さの電機子直径に対する比  $(h/D)$  が大きく, かつスロット幅  $(s)$  が大で, 歯幅  $(t)$  が小であれば (44) 式により  $K_s$  は大となる。

(3)  $\delta_0$  を大きくすることは, 電流密度  $(d_a)$  を大きくとることにほかならない。

したがって  $(S_s K_s \delta_0)$  の増加は  $A_0$  の増加であると思られる。

結局  $\gamma$  の減少は  $(S_s K_s \delta_0)$  の増加を意味することになる。

ところで  $A_0$  と  $\gamma$  の関係は微減少比例であったから,  $(S_s K_s \delta_0)$  と  $\gamma$  の関係もまた微減少比例であると思われる。

ゆえに (31) 式において

$$\frac{\partial d_0}{\partial (S_s K_s \delta_0)} d(S_s K_s \delta_0) = -k_2 \frac{\partial d_0}{\partial \gamma} d\gamma \dots (45)$$

とおけば (ただし,  $k_2$ : 比例定数)

$$\frac{\partial d_0}{\partial (S_s K_s \delta_0)} = -\frac{1}{2} K_d (S_s K_s \delta_0)^{-\frac{3}{2}} \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1}$$

$$\frac{\partial d_0}{\partial \gamma} = -\frac{1}{2} K_d (S_s K_s \delta_0)^{-1/2} c_1 k_1 (1+\gamma)^{k_1-1}$$

$$\times \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1}$$

であるから

$$\frac{d(S_s K_s \delta_0)}{S_s K_s \delta_0} = -c_1 k_1 k_2 (1+\gamma)^{k_1-1} d\gamma$$

これを解くと

$$\log_\varepsilon (S_s K_s \delta_0) = -c_1 k_2 (1+\gamma)^{k_1} + \log_\varepsilon c_2$$

ゆえに

$$S_s K_s \delta_0 = c_2 \varepsilon^{-c_1 k_2} (1+\gamma)^{k_1} \dots (46)$$

ただし,  $c_2$ : 積分定数

(5・5) 式の誘導 (その2) (46) 式を (31) 式に代入して整理すれば

$$d_0 = K_d c_2 \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1(k_2-1)} \dots (47)$$

同様の操作を (32) 式にほどこせば

$$a_0 = K_a c_2 \varepsilon^{\frac{1}{2}} \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1(k_2+1)} \dots (48)$$

同様に (42) 式から

$$b_0 = K_b c_2 \varepsilon^{c_1} (1+\gamma)^{k_1(2-k_2)} \dots (49)$$

(43) 式より

$$l_0 = K_l c_2 \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{-\frac{c_1}{2}} (1+\gamma)^{k_1(1-k_2)} \dots (50)$$

となり, (47) ~ (50) 式のように  $d_0$ ,  $a_0$ ,  $l_0$ ,  $b_0$  はいずれも  $\gamma$  だけの関数になる。また (46) 式を変形して

\* 付録 (3) 参照

$$c_1(1+\gamma)^{k_1} = -\frac{1}{k_2} \log_{\epsilon} \left( \frac{S_s K_s \delta_0}{c_2} \right) \dots\dots (51)$$

または  $\gamma$  を求めれば

$$\gamma = \left\{ \log_{\epsilon} \left( \frac{c_2}{S_s K_s \delta_0} \right)^{\frac{1}{c_1 k_2}} \right\}^{\frac{1}{k_1}} - 1 \dots\dots (51')$$

であるから (51) 式を用いて (31), (32), (42), (43) 式を書き改めれば

$$d_0 = K_d c_2^{-\frac{1}{2k_2}} (S_s K_s \delta_0)^{\frac{1-k_2}{2k_2}} \dots\dots (52)$$

$$a_0 = K_a c_2^{-\frac{1}{2k_2}} (S_s K_s \delta_0)^{\frac{1+k_2}{2k_2}} \dots\dots (53)$$

$$b_0 = K_b c_2^{\frac{2}{k_2}} (S_s K_s \delta_0)^{\frac{k_2-2}{k_2}} \dots\dots (54)$$

$$l_0 = K_l c_2^{-\frac{1}{2k_2}} (S_s K_s \delta_0)^{\frac{1-k_2}{2k_2}} \dots\dots (55)$$

なる形となり、この場合にはすべて  $(S_s K_s \delta_0)$  だけの関数として表わされる。

(5・6)  $k_2, c_2$  について (6) 式において  $\gamma$  が小さくなった場合には  $\phi_0$  は小さくなり、(23) 式の右辺  $(d_0 l_0 b_0)$  は小さくならなければならない。そして  $d_0$  が小さくなるための  $k_2$  は (47) 式より  $k_2 > 1$ ,  $(l_0 b_0)$  が小さくなるための  $k_2$  は (49), (50) 式の相乗積から  $k_2 < 3$ , また  $\gamma$  が小さくなくても  $b_0$  が小さくならないためには (49) 式より  $k_2 > 2$ , ゆえに  $k_2$  は

$$2 < k_2 < 3$$

また (51') 式において  $\{ \}$  が正になるための  $c_2$  は  $c_2 > S_s K_s \delta_0$

であることが必要である。

(5・7)  $d_0, a_0, b_0, l_0$  について (47)~(50) 式において、 $d_0, a_0, b_0, l_0$  は  $\gamma$  によって変化させられ、 $k_2$  は  $2 < k_2 < 3$  であるから  $\gamma$  が 1 に近づくにつれて  $d_0$  と  $l_0$  は小さく、 $a_0$  と  $b_0$  は大きくなる。そして  $b_0$  と  $l_0$  の相乗積は小さくなる。

また  $\gamma$  が減少することは本質的には  $(S_s K_s \delta_0)$  が増加することであるといえるから、(52)~(55) 式においても  $d_0$  と  $l_0$  はともに小さく、 $a_0$  と  $b_0$  はともに大きくなる。

そうして、製作技術と材料の進歩は  $S_s$  を高め、スロットの深さは、直流機では整流作用の改善、同期機では突発短絡電流の制限、自動電圧調整器の発達によって漏れリアクタンスは増大、したがって電機子直径に対して次第に大きくなる傾向にある。

電気鉄板の品質向上は電機子歯の磁束密度が大きくとれるから歯の幅は小さく、スロットの幅は大きくなり、 $b_0$  の増加と  $l_0$  の減少にその方向を与えている。

ことに冷却法の進歩によって電流密度も高くとれるようになったから、 $(S_s K_s \delta_0)$  は必然的に増加の傾向に

あることは事実である。

## 6. 結 言

以上の考察と解析とによって

(1) 電気機器設計の装荷分配は、装荷の統計資料に基づくと分配定数  $\gamma$  だけによって行われるべきが妥当である。

(2) 分配定数  $\gamma$  なるものの本質は  $(S_s K_s \delta_0)$  にあるとみられる。

(3) 基準電磁装荷  $\phi_0, A_0$  は (6), (7) 式に (51) 式を用いて

$$\phi_0 = \frac{1}{K_0} \left( \frac{S_s K_s \delta_0}{c_2} \right)^{-1/k_2}$$

$$A_0 = \left( \frac{S_s K_s \delta_0}{c_2} \right)^{1/k_2}$$

なる形で表わされるから、最終的には  $(S_s K_s \delta_0)$  にだけ関係をもつものである。

(4)  $\phi_0, A_0$  の究明は  $d_0, a_0, b_0, l_0$  の究明であって、 $d_0, a_0, b_0, l_0$  はいずれも  $\gamma$ , すなわち  $(S_s K_s \delta_0)$  によって支配されている。

$S_s, K_s, \delta_0$  の現状について

(1)  $S_s$  はスロット絶縁ならびに巻線の温度上昇に関係が深く、すでに限界にきていると思われる。スロットの空間率の向上は今後熱伝導の良好な絶縁物が出現しない限りそれほど期待はできない。

(2)  $K_s$  は機器の特性におよぼすところ大であり、機種によっては特性の低下を無視してまで  $K_s$  を大きくすることは許されないから、現状においてはまだまだ制約をうけている。

(3)  $\delta_0$  は  $\frac{A_a}{(S/f)(1-\gamma)/(1+\gamma)}$  で置き換えられ、電機子巻線の電流密度  $A_a$  は巻線の温度上昇によって制限をうけるから、冷却法の進歩発達にまつところが多い。

終りに有益なご助言を賜った東京電機大学電動力応用研究所長竹内寿太郎博士に深謝いたします。(昭和 35 年 12 月 28 日受付, 同 36 年 5 月 2 日再受付)

## 文 献

- (1) 竹内：電学誌 42, 711 (大 11)
- (2) 竹内：電気機器設計法 (昭 23)
- (3) 上田：電気機械構成学説 (昭 15)
- (4) 土屋：多相整流子電動機 p. 113 (昭 34)
- (5) たとえば電気学会編：電気工学ハンドブック p. 782 (昭 28)

## 付 録

(1) 竹内氏の回転変流機装荷統計算定値<sup>(1)</sup>の訂正に関して --- 竹内氏が当時回転変流機について算定された諸数値は付第 1 表上段のごとくであって、この数



付第 1 表 回転変流機の定数

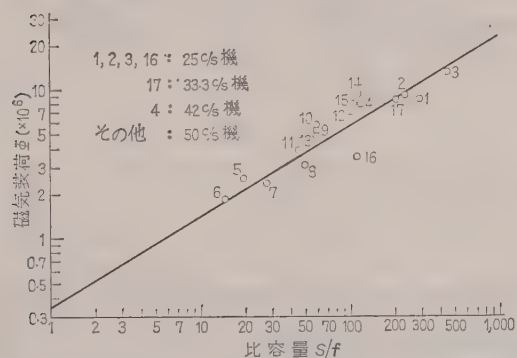
定 数	$C$	$\gamma$	$\frac{\gamma}{1+\gamma}$	$\frac{1}{1+\gamma}$	$\phi_0$ ( $\times 10^8$ )	$A_0$ ( $\times 10^3$ )
原著の算定値	50 c/s 25 c/s	0.308 0.034	2.6 "	0.72 "	0.28 0.15	0.95 1.77
訂正された算定値	50 c/s 25 c/s	0.595 1.55	0.608 0.608	0.392 0.392	0.35 0.35	0.71

値が (5) 式を満足させている関係にあるかどうかを調べたところ、(5) 式を満足させていない数値であることが明らかとなった。

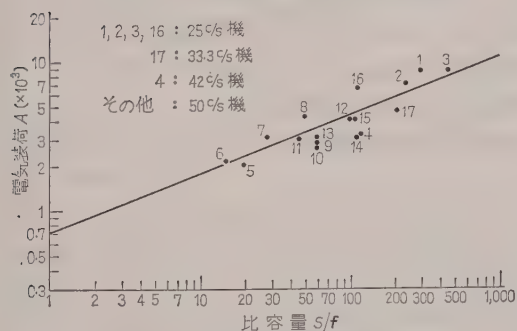
よって原著<sup>(1)</sup>により、あらためて諸数値を算定した結果付第 1 表下段のようになっていれば、(5) 式

$$\frac{\partial C}{\partial \phi_0} d\phi_0 = k_1 \frac{\partial C}{\partial \gamma} d\gamma$$

が満足されるので、原著者に原著の算定値訂正の意見を求め、訂正されてしかるべきであるとの了承を得たので、装荷統計の結果付第 1 図、付第 2 図を添付し、回転変流機諸定数の訂正を行うものである。



付第 1 図 回転変流機磁気装荷の統計



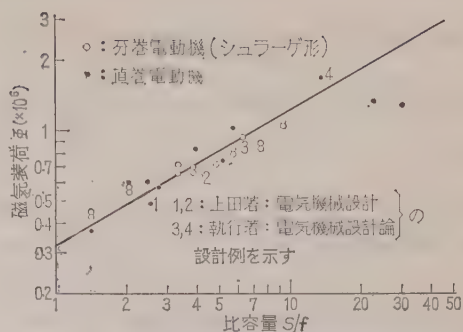
付第 2 図 回転変流機電気装荷の統計

### (2) 三相整流子電動機磁気装荷の統計

文献

(3) の p. 345 に記載されている三相整流子電動機について、磁気装荷の統計をとると付第 3 図のようになる。(各電動機の  $S/f$  を算出するに必要な効率、力率はその電動機容量に相当する効率、力率を仮定)

付第 3 図により  $\Phi$  と  $S/f$  の関係は



付第 3 図 三相整流子電動機磁気装荷の統計

$$\Phi = 0.32 \left( \frac{S}{f} \right)^{0.583} \quad (\gamma = 1.4)$$

で表わされるとみてよい。

なお、三相分巻整流子電動機（シュラージェ電動機）の  $\Phi$  と  $S/f$  の関係は最近発行された土屋氏<sup>(4)</sup>の著書によると、だいたい

$$\Phi = 0.3 \left( \frac{S}{f} \right)^{0.585}$$

で表わすことができると述べていられるので参考までに記しておく。

(3) (18) 式について (18) 式は (17) 式から次のようにして導きだされたものである。

いま  $D$ : 電機子ギャップ直径、 $D_s$ : 電機子スロット深さ中央における直径、 $ac$ : 電機子ギャップ直径周辺単位長さあたりのアンペア導体数、 $(ac)_s$ : 電機子スロット深さ中央における直径の周辺単位長さあたりのアンペア導体数

とすれば

$$A = \frac{1}{2} \pi \frac{D}{P} (ac) \quad (17)$$

または

$$= \frac{1}{2} \pi \frac{D_s}{P} (ac)_s \quad (17')$$

(17') 式における  $(ac)_s$  は

$$(ac)_s = \Delta_a h S_s \frac{s}{s+t}$$

$\Delta_a$ : 電機子巻線電流密度、 $h$ : 電機子スロットの深さ、 $S_s$ : 電機子スロット内導体の占積率、 $s$ : 電機子スロットの幅、 $t$ : スロット深さ中央における歯幅

で表わすことができるから<sup>(5)</sup>

$$A = \frac{1}{2} \pi \frac{D_s}{P} \left( \Delta_a h S_s \frac{s}{s+t} \right) \quad (17'')$$

右辺に  $\left( \frac{D^2}{4} \frac{4}{D^2} \right)$  を掛けて整理すると

$$A = \frac{1}{2P} \frac{\pi}{4} D^2 \Delta_a S_s \left\{ \frac{4(h/D)}{1+(t/s)} \left( \frac{D_s}{D} \right) \right\} \dots (17''')$$

$$= \frac{1}{2P} \frac{\pi}{4} D^2 \Delta_a S_s K_s \dots (18)$$

を得る。

ただし、

$$K_s = \frac{4(h/D) D_s}{1+(t/s) D}$$

である。

$K_s$  についてみるに、右辺の  $D_s$  は

電機子が回転子側の場合には  $D_s = D - h$

電機子が固定子側の場合には  $D_s = D + h$

であるから、これを用いて

$$K_s = \left\{ \frac{4(h/D) D \mp h}{1+(t/s) D} \right\} = \frac{4(h/D)}{1+(t/s)} \left( 1 \mp \frac{h}{D} \right)$$

$$= \frac{4}{1+(t/s)} \left( \frac{h}{D} \mp \frac{h^2}{D^2} \right)$$

ここで  $h/D \gg h^2/D^2$

であるとみてよいから、上式で  $h^2/D^2$  を省略すれば

$$K_s = \left\{ \frac{4(h/D)}{1+(t/s)} \left( \frac{D_s}{D} \right) \right\} \approx \frac{4(h/D)}{1+(t/s)}$$

となる。

そうして、 $K_s$  はだいたい

$$K_s = \frac{A_s}{A_d}$$

$\frac{\text{電機子の全スロット面積}}{\text{電機子のギャップ直径をもって表わされた面積}}$

であると定義づけることができる。

定義にしたがうならば

$$A_s = \frac{Zq}{S_s} = \frac{Z(I_a/\Delta_a)}{S_s} = \frac{P \cdot AC}{S_s \Delta_a} = \frac{\pi D(ac)}{S_s \Delta_a}$$

$$\approx \frac{\pi D}{S_s \Delta_a} \left( \Delta_a h S_s \frac{s}{s+t} \right) = \pi D h \frac{s}{s+t}$$

$$A_d = \frac{\pi}{4} D^2$$

ゆえに

$$K_s = \frac{A_s}{A_d} = \frac{\pi D h \frac{1}{1+(t/s)}}{(\pi/4) D^2} = \frac{4(h/D)}{1+(t/s)}$$

$Z$ : 電機子全導体数,  $q$ : 導体素子の断面積,  $I_a$ :

電機子電流,  $AC$ : 1極のアンペア導体数

## 日本工学会手帳予約申込案内

例年のごとく本年も昭和 37 年(1962 年)用日本工学会手帳御好評により下記の通り発行いたしますから何卒予約御申込み下さい。(印刷費、その他の値上りのため止むを得ず定価を改訂いたしました)

- |            |                     |
|------------|---------------------|
| 1. 寸 法     | 15 cm × 9.5 cm      |
| 2. 定 価     | 200 円(送料共 220 円)    |
| 3. 予約申込期日  | 昭和 36 年 10 月末日まで    |
| 4. 予約申込場所  | 本会または日本工学会          |
| 5. 予約金支払期日 | 昭和 36 年 11 月 20 日まで |
| 6. 手帳発送期日  | " 12 月 1 日より        |

社団法人 日 本 工 学 会

東京都千代田区佐久間町 1 の 11 (造船協会内)

電話 (251) 4 3 5 8 番 振替口座 東京 5055 番



UDC 621.315.616.96.015.53

## エポキシ樹脂の耐トラッキング性\*

資料・論文

36-124

正員 能 登 文 敏†

## 1. 緒 言

最近、石油化学工業の著しい発達により新しい高分子材料が次々に出現し、キャストレジンとしてそのすぐれた電気的性質を絶縁材料に利用する用途が多くなった。エポキシ樹脂もその中の代表的な一つであり、その性質および利用に関する内外の有益な論文<sup>(1)</sup>もすでにいくつか発表されている。

有機絶縁材料においては、その表面が汚損状態となる使用下では、漏れ電流によるジュール熱およびアークあるいは不整電界による局部放電に基づく高温のため、その化学組成上多少とも熱分解による炭素が遊離して導電路となるトラッキング現象が一つの問題点であり、現在までその機構あるいは非トラッキング性材料についての研究<sup>(2)~(5)</sup> およびその試験法についてもいくつか報告<sup>(6)(7)</sup> されている。

トラッキングはその生成状態から3種の形<sup>(8)</sup>に大別されているが、このうち侵食形の場合は対向2電極間にみぞを生じて、それが試験進行とともに深くなるだけで電極間の短絡までにはいたらない。このような材料に対しては貫通試験をもってしているが、トラッキングによる絶縁性の低下ないしは材質劣化の評価の点からすれば、むしろ侵食経過時の生成遊離炭素量あるいは分解物とその付着状態が問題となろう。しかし、これらは直接測定としては困難を伴うものもあるので、間接的に表面抵抗の降下の測定に置き換えるのも一方法と考えられる。また侵食性と表面劣化に関連する問題として重量の減少、炭化損傷面積の大小も検討する必要がある。

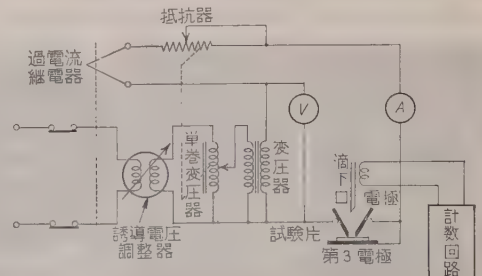
トラッキング試験法については従来各様の方法（たとえば DIN 法、BS 法、ダストフォッグ試験、その他）で行われていたが、絶縁材料試験の立場から国際的規格統一の機運が高まり、IEC において数年来論議検討を重ねた結果、1958 年推奨規格<sup>(9)</sup> が制定されるにいたった。この試験規格において評価基準として使用される比較トラッキング指数は、比較的再現性がよく求められるが、その値が近接しているような場合には

それだけで決定するのは充分ではなく、ことに侵食形となるような耐トラッキング性のよい材料に対してはまだ問題の余地があると考えられる。

筆者はエポキシ樹脂の電気絶縁材料としての利用拡充の基礎資料を得るために、汚損状態の使用下で特に問題となる耐トラッキング性について、二三の無機質充てん剤を配合したエポキシ樹脂を試料として、IEC 推奨規格に準拠して耐トラッキング性試験を行い、比較トラッキング指数を求めるとともに、前述のような見地から炭化および侵食による減量と炭化損傷面積、表面抵抗の降下などを測定して侵食性と絶縁性を調べ、これらの結果を評価基準に併用して総合的に耐トラッキング性を検討し、かつ試験法についても若干の考察を行ったのでその結果について述べる。

## 2. 実験装置および方法

第1図は試験回路を示したものである。対向電極は



第1図 試験回路



第2図 電極部

\* Properties of Tracking Resistance of Epoxy Resin. By F. NO-TO, Member (Faculty of Mining, Akita University).

† 秋田大学鉱山学部助教授、電気回路、電力応用担当

幅  $5 \pm 0.1$  mm, 長さ約 20 mm, 厚さ  $2 \pm 0.1$  mm の黄銅製で, 幅の方向に刃をつけた刃形電極で, 刃部の厚さは 0.1~0.2 mm である。また電極間隔は 4 mm, 電極の水平角度  $60^\circ$ , 電極の試料接触圧力は 100 g で, 貫通試験のために試験片の下に黄銅製の第 3 電極を設けてある。第 2 図は電極部を示した写真である。試験液は  $\text{NH}_4\text{Cl}$  の 0.1 % 水溶液で, 1 回あたりの滴下量は 20~25  $\text{mm}^3$ , これを試験片上約 25 mm の位置から  $30 \pm 5$  s 間隔で滴下させ, 電極間には商用周波数

の一定電圧を印加しておき, 試験片の貫通 (または表面トラッキング破壊) までの滴下数を測定し, これを最少 5 回求めてその平均値をとる。電圧を変えて数回同様の測定を行い, 印加電圧対破壊にいたるまでの滴下数の関係を図示して, この図から滴下数 50 回で破壊するような電圧, すなわち比較トラッキング指数を求めるのである。なお試験時試料回路の電流はあらかじめ 1 A になるように, 直列可変抵抗器で調節しておき, また試験片の破壊が生じたときは過電流継電器が動作して電源を切るようにし, 継電器は 0.5 A, 0.5 s で動作するように整定してある。

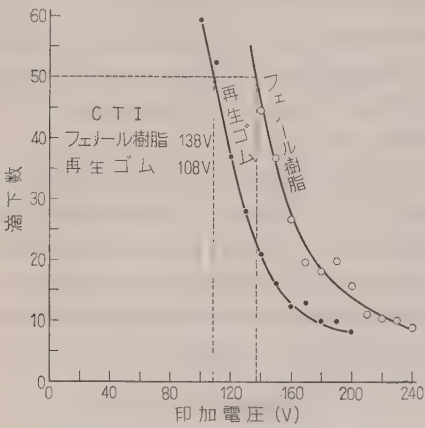
第 3 図は表面トラッキング破壊による比較トラッキング指数を求めた例で, 第 4 図は二三の有機材料の耐トラッキング性試験による表面破壊面および侵食破壊面を示した写真である。

なお本報告における実験条件は特に断わらない限り, 室温  $10 \sim 20^\circ\text{C}$ , 相対湿度  $55 \sim 70\%$  の室内で, 電源は 50 c/s, 容量 10 kVA の変圧器の一次電圧を調整して得ている。

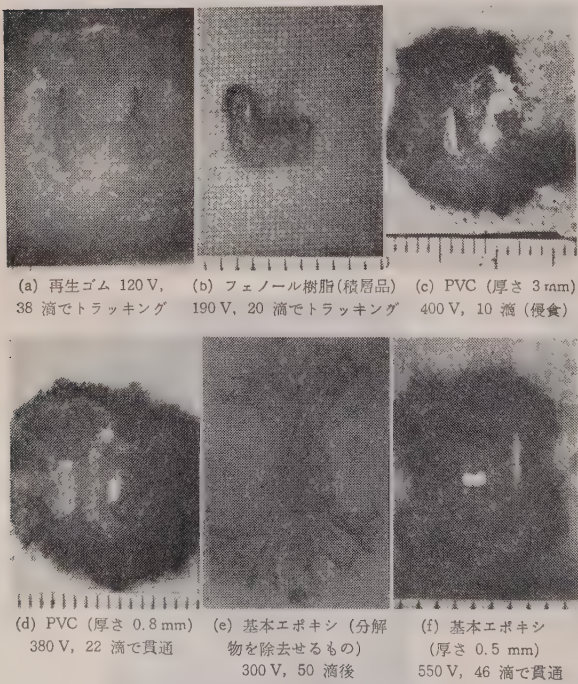
3. 試料の作成

使用したエポキシ樹脂はエピコート 828 (エポキシ価 0.43, 分子量約 350) で, 硬化剤として脂肪族多価アミンのジエチレントリアミン (DTA) を使用した。

それらの配合はすべてエピコート 100 部に対し DTA 11 部の割合とし, (これを基本エポキシとする) これに充てん剤としてアルミナ, 水酸化アルミニウムおよび炭酸カルシウムを用いた。充てん剤はあらかじめ 1 mmHg, 1 h の減圧乾燥の上, (水酸化アルミニウムは乾燥せず) それぞれエピコート 100 部に対して 20, 40 および 60 部を混練し, 注形したのち,  $20^\circ\text{C}$  で 2 h, さらに  $100^\circ\text{C}$  で 1 h の硬化処理を施した。注形に使用した形はクロームめっきを施した厚さ 12 mm の 2 枚の鉄板で, スペーサの厚さを変えて所要の厚さを得ている。なお加熱までの各過程ごとにも  $10 \sim 20$  min, 約 1 mmHg の真空脱泡を行ってある。試験片は貫通破壊用に厚さ  $0.5 \sim 0.55$  mm, (これを A 形試験片とする) 表面炭化損傷の測定用に約 3 mm (B 形試験片) の 2 種類を作り, 寸法をいずれも約  $15 \times 20$  mm に整え, 表面をベンゼンでふき, 中性洗剤で洗浄し, さらに水道水と蒸留水で洗浄したのち, 乾布で水分をふきとったものを実験に供した。第 1 表にこれらの試料の電気特性を示す。



第 3 図 比較トラッキング指数 (CTI) の求め方



第 4 図 耐トラッキング性試験による破壊面 (1 目盛は 1 mm)



第 1 表 供試エポキシ樹脂の電気特性

充てん剤	配合量 (部)	体積抵抗率 ( $\times 10^{14} \Omega \text{cm}$ )*	表面抵抗率 ( $\times 10^{12} \Omega$ )*	誘電率†	誘電正接† ( $\times 10^{-2}$ )
な し	0	0.24	7.85	4.0	2.0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20	1.31	1.84	4.3	2.0
	40	1.33	3.54	"	2.1
	60	1.68	9.43	4.5	2.7
$\text{Al}(\text{OH})_3$	20	1.18	3.32	4.2	2.5
	40	1.31	5.00	4.6	2.7
	60	1.58	3.22	"	2.4
$\text{CaCO}_3$	20	0.61	3.24	4.3	2.2
	40	0.64	3.30	4.5	2.1
	60	0.78	2.62	4.6	1.9

(注) 20°C, 70% RH, \*: 振動容量形微小電流計による。†: 1 Mcで  $Q$  メータによる。

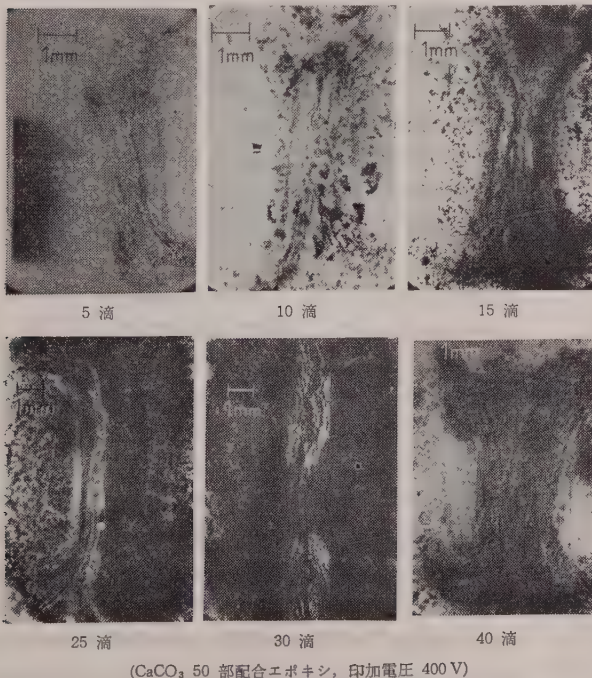
#### 4. 実験結果と考察

(4.1) 炭化の発生とその進展の観察 電圧をかけつつ滴下を行うと、滴下のたびに電極間の試料表面には電流が流れ、液は電極間で蒸発し、液膜が切れたときに火花を発する。たとえば基本エポキシの試料で印加電圧 300 V で 5 滴目における電流は、滴下時約 0.18 A, 蒸発時約 0.08 A で 3~5 s で蒸発し切るが、その後に電極間の中央部に電流方向と直角に数本の線状

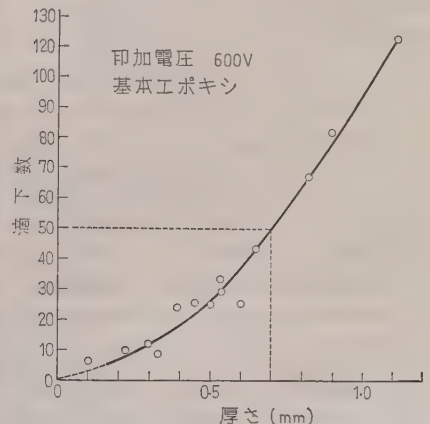
の微小放電が発生し、これが炭化の起点となる。この間試料表面に流れる漏れ電流はせいぜい数ミリアンペアにすぎない。滴下が重なるにしたがって微小放電が順次周囲に進展するとともに、最初の炭化点を起点とした炭化が進行し、電極間の試料表面を炭化しつつ、その後はさらに内部に向かって炭化侵食が進む。

炭化および侵食の原因となるものは、主として漏れ電流によるジュール熱と電界分布の不均一に基づく局部放電であるが、前者は比較的電圧の低い場合で、その炭化面は電極接触部を対辺としたほぼ正方形となり、後者は比較的電圧の高い場合で、電極端の周辺の放電によりその炭化面は  $\times$  字形を呈する。また両者の複合した形で現われるものもある。第 5 図は同一試験片についてある滴数ごとに炭化侵食の進展する過程を示した写真である。第 5 図および第 4 図 (e) の写真からもわかるように、侵食されてみぞになった部分は電気力線とほぼ直角に  $\times$  字形となっており、これらは明らかに電界に基づくことを示している。

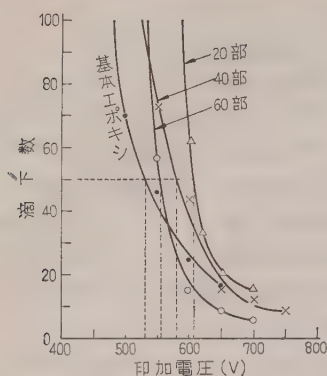
(4.2) 試料の厚さと滴下数との関係 印加電圧 650 V 前後から対向電極間には試験液の滴下時にアークが発生しはじめるので、その二次的影響をなるべく排除するためには試験電圧をそれ以下にとる必要がある。しかし低きに失すれば貫通破壊にはいたらないので、試料の厚さを選定するためにあらかじめ試料の厚さと貫通にいたる滴下数との関係を求めた。第 6 図は基本エポキシの試料についての結果を示したもので、試験電圧はアークの発生しない範囲で 600 V にとった。この結果の示すように当然薄いものほど貫通にいたる滴下数は少なくすむが、極度に薄いものは作製上の制約もあるので、比較トラッキング指数を決定する 50 滴以内で貫通破壊させる双方の関係から、厚さを



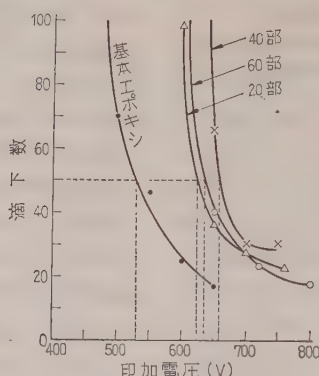
第 5 図 炭化侵食の進展過程



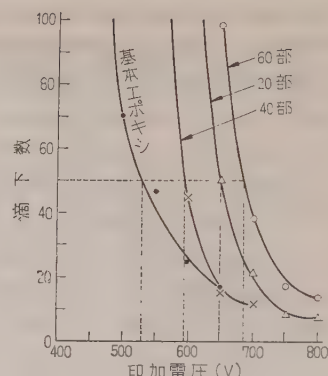
第 6 図 試料の厚さと滴下数との関係



第 7 図  $\text{Al}_2\text{O}_3$  配合エポキシの  
トラッキング電圧特性



第 8 図  $\text{Al}(\text{OH})_3$  配合エポキシ  
のトラッキング電圧特性



第 9 図  $\text{CaCO}_3$  配合エポキシの  
トラッキング電圧特性

0.5 mm に選び、その精度を +10 % とし、これを A 形試験片とした。

(4.3) 比較トラッキング指数 (CTI) 本実験に使用したエポキシ樹脂は前述のように侵食形であり、この試験法における対向電極間ではトラッキングによる短絡状態は生じにくいので、それによる CTI は求められない。そこで A 形試験片で侵食による貫通破壊試験を行って、それによる CTI を求めた。第 7 図～第 9 図は前記の各種エポキシ樹脂の試料について、貫通破壊によるトラッキング\*電圧特性を示したものである。この図から CTI を求めると第 2 表のようになる。

この数値によって 0.5 mm 厚さの試料における侵食トラッキングのだいたいの目安をつけることができるが、これは他種の材料の侵食トラッキングに対して

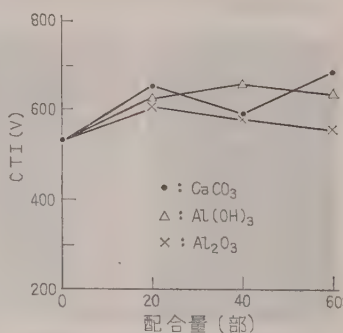
第 2 表 各種充てん剤エポキシ樹脂の CTI

充てん剤	配合量 (部)	CTI (V)	順位
なし	0	530	10
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20	605	6
	40	580	8
	60	555	9
$\text{Al}(\text{OH})_3$	20	625	5
	40	655	2
	60	635	4
$\text{CaCO}_3$	20	650	3
	40	595	7
	60	685	1

\* 厳密にはこの場合トラッキングということばを使うのは当をえないが、文献 (8) にしたがって便宜上侵食形もトラッキングの一形態と考えて侵食トラッキングと呼ぶことにする。これに対して対向電極間の短絡の形で起るトラッキングを表面トラッキングと呼ぶことにする。

も、同一条件および試験法である限り比較評価の目安とすることができる。

(4.4) 充てん剤の影響 第 2 表からわかるように充てん剤を配合することによって CTI はいずれも上昇し、これを含まない基本エポキシは低い値を示している。これは充てん剤の配合により耐熱性および熱伝導率などの熱的性質が向上したためと、加熱時の触媒作用により内部酸化機構<sup>(3)</sup>をもたらしただに基因するものと考えられる。第 7 図～第 9 図から配合量と CTI との関係を示すと第 10 図のようになるが、これによると 20 部配合ではいずれもそろって CTI が上昇するが、40 部以上になるとその傾向は不規則である。特に  $\text{CaCO}_3$  の配合では (4.7), (4.8) 節においてその性状を述べるように、配合量による効果の変動がはげし



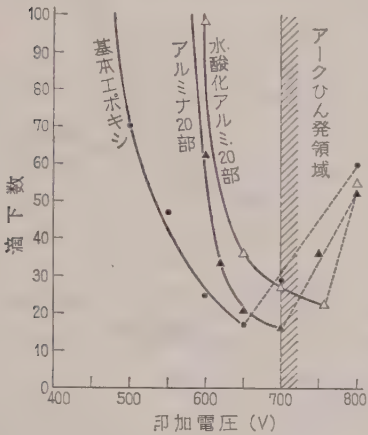
第 10 図 配合量と CTI

い。しかしいずれの場合でも CTI は基本エポキシより低下することはない。また充てん剤の配合によって、樹脂および硬化剤に対するイオン吸着作用などから電気特性に変化をきたすことは知られているとおりであるが、第 1 表に得られた供試エポキシの電気特性と耐トラッキング性試験の結果との間には特別な相関関係は認められない。このことは耐トラッキング性試験のような過酷な試験法における性状は、物質内部構造の変化による電気的性質よりも、加熱状態の試料表面層の物理的、化学的変化のほうに大きく依存することを示しているものと考えられる。以上の配合率の



範囲では、充てん剤としては比較的  $\text{CaCO}_3$  と  $\text{Al}(\text{OH})_3$  が良好な特性を示すことが認められる。

(4.5) アークの影響 試験電圧が約 650 V 以上になると試料によっては貫通するまでの滴下数が、低い電圧のときよりもかえって増加する場合がある。第 11 図の点線部分はこの例を示したものである。この原因は、滴下開始時の数滴は高電界のため電極で撥水

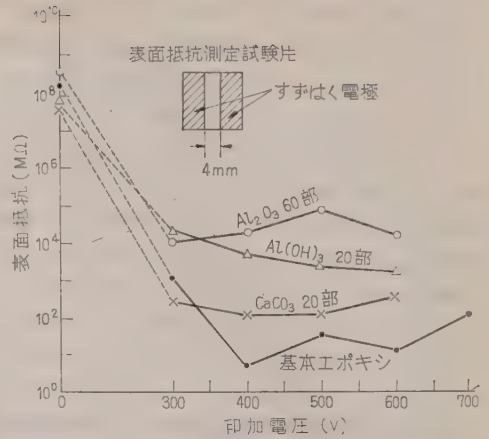


第 11 図 アークひん発領域における滴下数

されて試験液が電極間を継続しないことと、試験液蒸発の際の水蒸気により電極間あるいは電極保持具間でアークがひん発して弧絡状態となりやすいため、急激な蒸発と相まって試料面に有効かつ平均

に汚損されずしたがって試料面にもジュール熱が有効に発生されず、炭化点がなかなか生じにくいためと考えられる。したがってこのような状態の破壊には一部アーク熱の間接的な伝導が関与するが、大部分不整電界による局部放電によって行われる。また基本エポキシや充てん量の比較的少ない試料にこのような傾向が現われるのは、これら試料の熱伝導率が高配合率のものにくらべて低いことに基因するのではないかと考えられる。またアークによる機械的、熱的じょう乱が、測定値の再現性に影響をおよぼすことも当然考えられる。

(4.6) 表面抵抗の変化 表面トラッキングによる遊離炭素および分解物が絶縁性と関連することから、侵食形トラッキングにもある程度の関連性を期待して、B形試験片を用いて各印加電圧のもとで、試験液を一定滴数(ここでは 50 滴とした)滴下させて、炭化損傷を起させたのちの試料の表面抵抗を調べた。すなわち第 12 図の表面抵抗測定試験片に示すように、試験片の両端にすずはくをワセリンではりつけて電極とし、(すずはく的一端は対向電極の接触した部分になるようにはる)これを 75% RH のデシケータ中に 24 h 保存して、保存のままの状態 で 100 V、直偏法により測定した。その結果は測定値にばらつきが非常に多く、その範囲も 1 けたにまでおよぶものもある。その

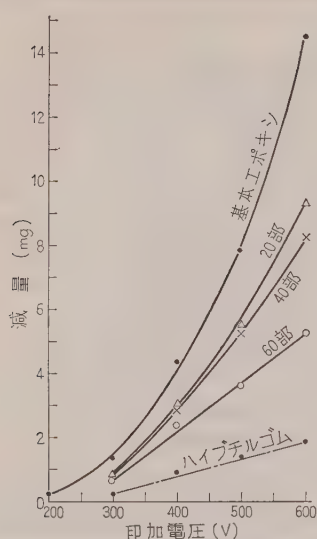


第 12 図 トラッキング試験後の表面抵抗

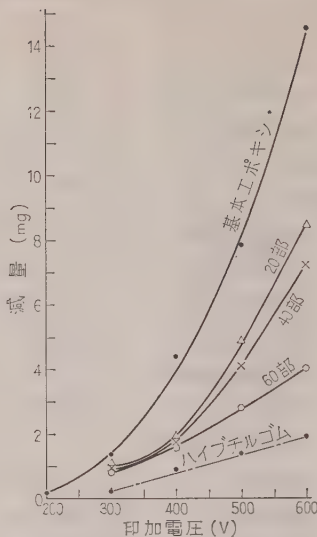
なかで比較的ばらつきの少ない測定値を平均値で示すと、第 12 図のようになる。この図からわかるように耐トラッキング性試験後の表面抵抗はだいたい  $1/10^4 \sim 1/10^8$  の範囲で降下し、ほぼ一定値となるかまたは試験電圧や充てん剤に対して不特定の傾向を示している。このような不規則な変化となることおよび測定値にばらつきが多いことは、導電因子となるべき遊離炭素などの分解生成物が試験液の滴下のつど飛散したり、あるいは蒸発、沸騰時のじょう乱により附着状態が固定しないことに基因していると思われる。

$\text{CaCO}_3$  の充てん物では分解生成物が比較的剝離されやすいが、一定値となっている抵抗値はの場合、炭化時のこの材料固有の抵抗値を示していると考えてよいだろう。また  $\text{Al}_2\text{O}_3$  および  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の充てん物が比較的高い抵抗値を保つのは、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の形にアルミナの水和物が生成されて、内部酸化機構により遊離炭素を残すことが少ないためと考えられる。試みに基本エポキシを燃焼させたときに生ずる煤煙を、基本エポキシの試験片につけたときの抵抗値は、両電極間で 200~500 kΩ 程度であるが、これに 600 V を印加したときは十数秒で表面トラッキングを起している。なおすずはくを前と直角方向にはりつけて電極としたときの抵抗値は、さらに  $10^{-1}$  程度降下するが、これは生成されたみぞに遊離炭素が直列に埋まっているからであろう。しかしばらつきの多いことは同様で、いずれも侵食またはトラッキング評価の基準には望めない。

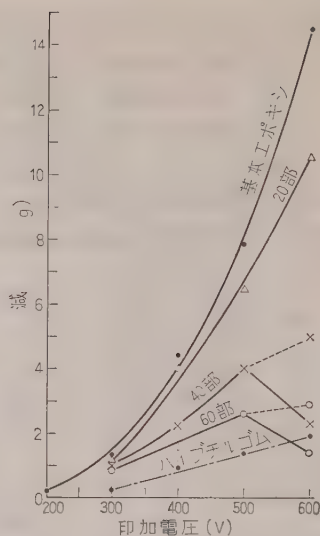
(4.7) 減量特性 表面抵抗測定後の試験片について分解生成物をブラシで除去したのち、ベンゼンでふき、さらに蒸留水で水洗いして、乾布で水分をふき取ったうえで重量を計り、トラッキング試験前の重量からその減量を求めた。第 13 図~第 15 図はその結果を示したものである。図からわかるように 300 V ぐら



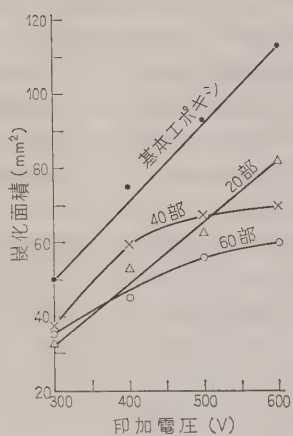
第 13 図  $\text{Al}_2\text{O}_3$  配合エポキシの減量特性



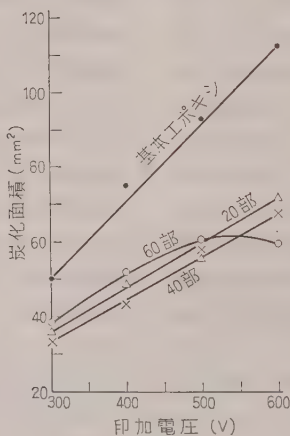
第 14 図  $\text{Al}(\text{OH})_3$  配合エポキシの減量特性



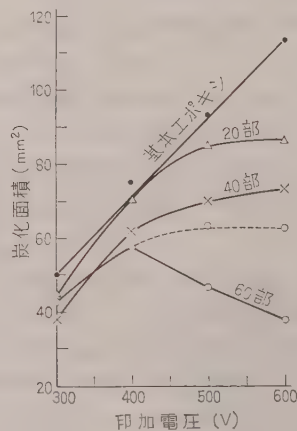
第 15 図  $\text{CaCO}_3$  配合エポキシの減量特性



第 16 図  $\text{Al}_2\text{O}_3$  配合エポキシの炭化面積



第 17 図  $\text{Al}(\text{OH})_3$  配合エポキシの炭化面積



第 18 図  $\text{CaCO}_2$  配合エポキシの炭化面積

いまだはいずれの場合も減量はほぼ同じ程度であるが、それ以上の電圧になると、基本エポキシでは急激に増加しはじめ、充てん剤の効果が顕著に現われてくる。配合量については、 $\text{CaCO}_3$  の場合を除き 40 部では 20 部よりいくらか減量が少ないのに対して、60 部では 400 V 以上から他との開きが著しくなり、600 V における減量は 20 部の 1/2、基本エポキシの 1/3 ～1/4 にすぎない。すなわち配合量を増加するにしたがい、減量特性は直線に近くなるとともに、その勾配も緩慢になってくる。 $\text{CaCO}_3$  配合の場合は、その性状については炭化損傷面積とも関連するので (4・8) 節で述べるが、その傾向は高配合率のものは電圧の高いところで  $\text{Al}_2\text{O}_3$  および  $\text{Al}(\text{OH})_3$  配合のものとは

全く異なり第 15 図のようになる。減量特性から見た充てん剤としては  $\text{Al}(\text{OH})_3$  および  $\text{CaCO}_3$  の 60 部が他よりも少ない減量を示していることがわかる。

(4・8) 炭化損傷面積 第 16 図～第 18 図は減量を測定したのちの試験片の表面について、炭化により損傷した見掛け上の表面積を実測した結果を示したものである。図に見るように基本エポキシでは印加電圧 300～600 V において、50～113 mm<sup>2</sup> 間をほぼ直線的に増加する。充てん剤の比較的少ない場合も基本エポキシの特性とほぼ平行に移動して、減量、炭化面積ともに小さくなり、耐侵食性が増加することを示している。配合量が増加するにしたがいやや複雑となり、ある電圧以上では飽和状態を示すものもある。これは滴



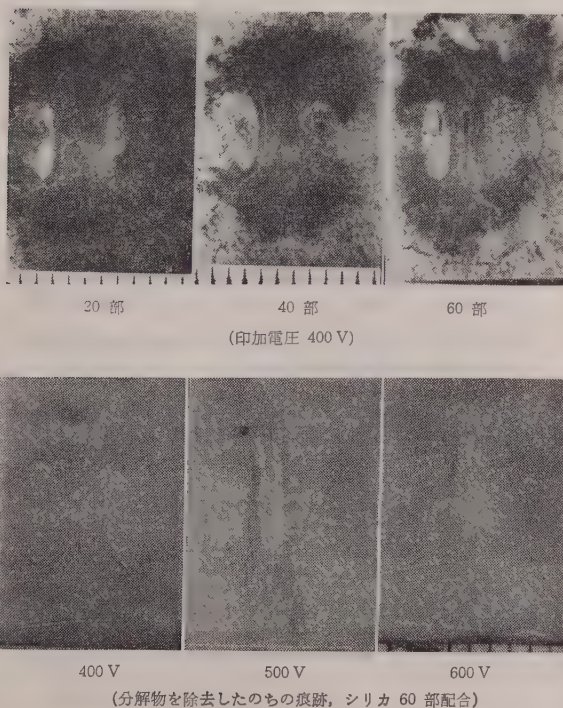
下液の広がった範囲である程度の表面層の炭化が行われた後は、活発な局部放電により内部に向かって炭化、侵食が行われることを意味し、この際の減量が少なければ耐侵食性も良好といえる。すなわち炭化面積、減量ともに小さければ表面炭化も進展せず、内部侵食に対しても耐性があることを示し、また炭化面積は大きいが減量が小さいものは表面層の炭化だけにとどまって内部には侵食しがたいことを示していると考えられる。

次に  $\text{CaCO}_3$  配合の試料においても、印加電圧の比較的低い間は、第 15 図、第 18 図および第 19 図に見るように、配合量の増加に伴って同一電圧における炭化面積、減量はともに減少している。これは、他の充てん剤の場合と同様、分解生成物が充てん剤より耐熱性の低いエポコート成分からほとんどが出るからであろう。しかし配合量が 60 部の場合、印加電圧 500 V 以上になると少しく様相を異にする。すなわち試験液は滴下の瞬時に高電界のために電極間で撥水されて切断し、一方の電極にだけ付着してたまる傾向がある。したがって電極間の試験片表面は均一にぬれないので蒸発もはげしくなく、漏れ電流もほとんど流れずもっぱら電極周辺の局部放電とアーク放電だけが行われ、その炭化面もおおむね一方の電極側だけで左右非対称になりやすい。これは充てん剤配合量の増加によって、耐熱性が向上し炭化点が発生しにくくなるほ

かに、前述のように高電界による試験液の撥水および電極付着のかたよりが電界強度の不均一をもたらし、これが他方の電極からのアークのひん発となって、アークの発生する電極側だけ炭化侵食されるためである。その結果は図のように炭化面積の減少を示すことになる。試みに 40 部および 60 部の試験片で同一電圧において、電極周辺にたまる滴下液を故意に電極間で蒸発させるように仕向けてやった結果は、第 15 図および第 18 図の点線で示すように炭化面積、減量ともに増加を示している。したがって炭化面積および減量は本質的には漏れ電流および局部放電によって決まり、電圧の上昇に伴って増加することは問題なく、不規則な変化を示すのは配合量増加による耐熱性の向上に伴う試験液対材料表面の物理的、導電的性状の変化によるものと考えられる。第 19 図の写真は  $\text{CaCO}_3$  配合のエポキシにおいて、配合量を変えた場合と印加電圧を変えた場合の、それぞれ 50 滴目の炭化面を比較したものである。

以上炭化損傷面積から侵食性を検討したが、各充てん剤のエポキシとも最終試験電圧 600 V では高配合率のものほど炭化面積が減少しているが、中間の試験電圧では必ずしも同じ順序にはならない。これは各試験電圧において、また各材料に対して常に一定の熱条件が与えられているとは限らないからではないかと推察される。次に、仮に 600 V における減量と炭化面積をとって、CTI と対照してみると、双方の結果の傾向は必ずしも一致していない。これも前述のように試料面上の放電が各試料に対して常に一定ではなく、したがって侵食速度が一定でないことに加えて、侵食点の成長に対する生成分解物と試験液の物理的、化学的作用にも変動があることに基因しているものと推論される。なお CTI で 1 位を示す  $\text{CaCO}_3$  60 部は、見掛け上の耐侵食性、さらには耐トラッキング性の向上を示しているが、以上のことから本質的にはもうすこし侵食程度が進むものと考えられる。

以上のように CTI、減量および炭化面積を総合的に考察の結果、供試エポキシの中では  $\text{CaCO}_3$  および  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の各 60 部配合のものが比較的耐トラッキング性が良好と認められる。なお参考のために耐トラッキング性が優秀とされているハイブチルゴム ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  60 部含有) について同様の試験を行った結果、減量は第 13 図～第 15 図の鎖線で示すようになる。供試エポキシにおいてはその約 2 倍以上の減量になるから、侵食性が



第 19 図  $\text{CaCO}_3$  配合エポキシの炭化面積

ら見た耐トラッキング性はまだハイブチルゴムにはおよばない。

## 5. 結 言

3種の無機質充てん剤の配合量を変えたエポキシ樹脂について、IEC推奨規格により耐トラッキング性試験を行い、貫通破壊によるCTIを求めるとともに、表面抵抗の降下、減量および炭化損傷面積を測定することによって、侵食性の面から充てん剤の効果とその耐トラッキング性を検討し、かつ、それと関連して試験法について考察したが、その結果を要約すると次のようである。

(1) 一般に無機質充てん剤を配合することによっていずれもCTIは向上する。しかし配合量の増加とCTIの上昇とは必ずしも一致しない。

(2) 減量および炭化損傷面積は同一配合量において、試験電圧の上昇にしたがい増加し、同一試験電圧において配合量の増加とともに減少する。特に高い試験電圧において充てん剤の効果が顕著である。

(3)  $\text{CaCO}_3$  配合の場合、高配合率のものは高い試験電圧範囲では、減量、炭化損傷面積ともに見掛け上は減少する。

(4) CTI、減量および炭化損傷面積から評価して、3種の充てん剤のうち  $\text{CaCO}_3$  および  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の60部が比較的良好である。

(5) 侵食形となる材料の耐トラッキング性は、耐熱性と分解生成物に依存するものごとくである。

(6) トラッキング試験後の試料の表面抵抗は、不規則な変動を伴ない、かつばらつきが多いので、耐トラッキング性、侵食性のいずれの評価判定にも効果は期待できない。

次に試験法に関連する事項としては

(1) IEC推奨規格による試験法では、DTAを硬化剤としたエポキシは表面トラッキング破壊は起らない。したがってそれによるCTIは規定できない。

(2) 電極間の直接アークによる二次的影響が再現性を妨げるので、それを避けるためには試験電圧の低下がまぬがれない。したがって試験電圧の範囲が狭くなり、また求めたCTIが近接している場合は、その評価判定が微妙で他に補助的資料を必要とする。

(3) 試験電圧が高くなると滴下液が一方の電極に

かたよりやすく、滴下数が見掛け上多くなるとともに炭化面も非対称になるから電界強度について検討を要する。

(4) 試料によっては対試験液間の物理的、化学的性状が一定せず、その結果は測定値の再現性に影響をおよぼす。したがって試験液の内容および液滴の容積について検討を要する。

(5) 試験液滴下時の導電が必ずしも一定でなく、これも再現性に影響を与えらると思われる。

(6) トラッキング破壊の限界を0.1Aとしているが、試験液滴下時で0.1Aをこえるから不合理であり、これは0.5A程度にすべきである。

など再現性と耐トラッキング性の良好な材料に対しての試験法としての問題がある。

DTAを硬化剤としたエポキシ樹脂は耐熱性が比較的良好といわれているが、硬化剤を変えることにより種々の特性の異なるエポキシが得られるので、充てん剤の選定と相まってさらに耐トラッキング性の良好なものが得られることが期待され、これらについては引き続き実験中であるので稿を改めて報告したい。

本研究は筆者が昭和35年度内地研究員として東京工業大学に在留中に行ったものであり、筆をおくに臨み終始ご懇篤なご指導を賜った同学教授斎藤幸男博士に深く感謝の意を表するとともに、種々便宜を供与された山中俊一助教授はじめ日野太郎助手、ならびに斎藤研究室の方々、有益な助言を与えられた東芝マツダ研究所中和夫博士、文献資料の便宜を与えられた電気試験所中島達二氏、実験に協力された宮道夫氏(協栄産業株式会社)の諸氏に併わせて厚くお礼を申し上げます。(昭和36年5月13日受付)

## 文 献

- (1) たとえば、斎藤・松下：電学誌 **77**, 1588 (昭32)；W. C. Farneth & G. Gallousis: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **74**, 194 (1955)；C. W. Park: Elect. Engng **75**, 1104 (1956)
- (2) R. S. Norman, R. A. Pfuntner & A. A. Kessel: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **75**, 257 (1956)
- (3) R. S. Norman & A. A. Kessel: Pwr Apparatus and Syst. No. 37, 632 (1958)
- (4) R. F. Sterling: Communi. and Electronics No. 29, 776 (1957)
- (5) 市来崎・西村：昭35東京交部連大119
- (6) M. W. Albright & W. T. Starr: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **75**, 441 (1956)
- (7) K. Michel et, M. H. Hillenkamp: Bull. Assoc. Suisse Elect. **50**, 601 (1959)
- (8) 電気学会：放電ハンドブック p. 359
- (9) IEC Publication 112 (1959)



UDC 621.382.23 : 535.215 : 546.28

## 拡散法による Si の接合生成と光電的諸特性\*

資料・論文

36-125

正員 高 橋 清†

## 1. 緒 言

整流、トランジスタなどの半導体装置はもとより、光信号を電気信号に、あるいは光エネルギーを電気エネルギーに変換する半導体光電装置における諸現象はその接合部におけるキャリアの挙動によって大きく支配される。特に障壁光電効果による光電変換装置ではその P-N 接合形成にあたり、整流器やトランジスタなどとはまた異なった別の事項が要請される。すなわち

(1) 光エネルギーが充分障壁に到達できるように P-N 接合部を表面近傍に望ましい濃度こう配で望ましい位置に形成する。

(2) 表面における光の反射による損失を軽減する。

(3) 出力エネルギー損の原因になる直列内部抵抗を小さくする。

(4) 均一な大面積の接合を形成する。

筆者らはさきにこのような目的に対して、真空蒸着法を応用し、加熱中の Ge または Si に不純物を蒸着アロイして作った P-N 接合の光電的諸特性について報告した。<sup>(1)</sup> 引き続きこれと比較検討する意味から、Si 中にドナーまたはアクセプタ不純物を表面より拡散させて作った接合について、おもにその光電特性と拡散条件との関連性について調べた結果、従来太陽電池などで一般に行われている N 形 Si にほう素を拡散するものよりも P 形 Si にりんを拡散したもののほうが各種の点において光電特性がすぐれていることを明らかにし、<sup>(2)</sup> あわせて両者の拡散技術を利用して N-P-N フォトトランジスタの試作を行った。また Si 中へ酸素を拡散し、Si 中の酸素の挙動について調べ、拡散条件を適当に選ぶことによって酸素によるだけでも P-N 接合が形成され、充分実用に供せられうる程度の光電特性が得られることを見出した。<sup>(3)</sup> このほかこれらの拡散技術と既報の真空蒸着法の技術<sup>(1)</sup> とを組み合わせ、Si フォトトランジスタを試作し、それらの諸特性を解析した。

## 2. 固体拡散理論

一般に拡散の方程式は一次元だけを考えたと

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots \dots \dots (1)$$

の Fick の式で与えられる。いま Si 表面の不純物濃度を一定として (1) 式を解くと

$$C(x) = C_s \operatorname{erfc}(x/2\sqrt{Dt}) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $C_s$ : 表面不純物濃度、 $C$ : 表面からの距離  $x$  における不純物濃度、 $t$ : 拡散時間、 $D$ : 拡散定数

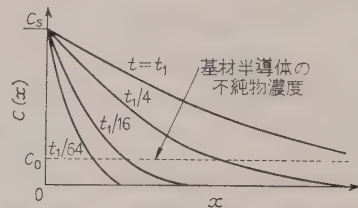
基材 Si の不純物濃度を  $C_0$  とし、 $C_s \gg C_0$  の場合には表面からの P-N 接合の深さ  $x_0$  は近似的に

$$x_0 = A 2\sqrt{Dt} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $A$ :  $C_0$ ,  $C_s$ ,  $D$  および  $t$  を含む定数で与えられる。また拡散定数  $D$  は次式で表わされる。

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right) \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $D_0$ : 無限大の温度のときの  $D$  の値、 $\Delta H$ : 拡散の活性化エネルギー、 $R$ : ガス定数



第 1 図 不純物濃度  $C(x)$  と距離  $x$  との関係

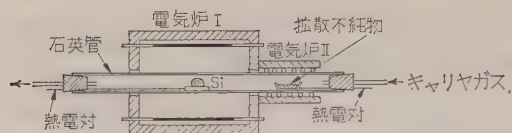
(2) 式を図式的に示すと第 1 図のようになり、接合部までの深さおよび濃度こう配などは Si 自体の不純物濃度、拡散物質の表面濃度、拡散温度ならびに拡散時間によって左右される。

## 3. Si 中へのりんおよびほう素の拡散

一般に拡散法ではアクセプタ不純物としてはほう素やガリウムを、またドナー不純物としてはりん、アンチモンおよびひ素などが用いられている。本実験では N 形 Si にほう素を、また P 形 Si にはりんをそれぞれ

\* Preparation of P-N Junctions in Si by the Diffusion Method and its Photoelectric Characteristics. By K. TAKAHASHI, Member (Tokyo Institute of Technology).

† 東京工業大学電子工科大学院学生

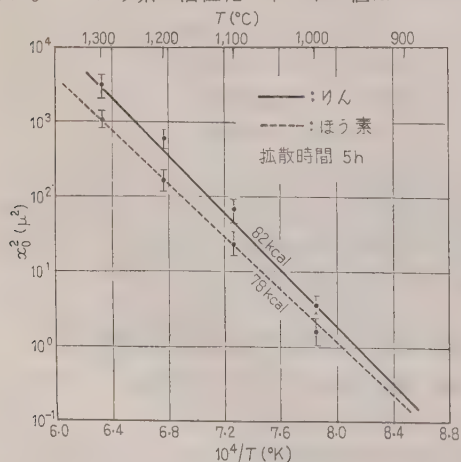


第2図 拡散装置

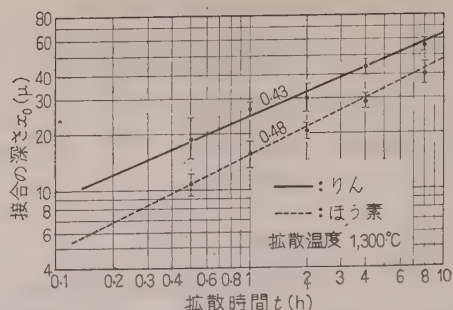
れ拡散して P-N 接合を形成した。

用いた Si は P 形, N 形ともに固有抵抗が数オームセンチメートル程度のもので, これを 1,200 メッシュのカーボランダムで研磨後  $4\text{HNO}_3 + \text{HF}$  の混合液で充分エッチし, 表面を鏡状にする。この試料を第2図に示すような拡散装置の電気炉 I 中に入れ, また拡散不純物を電気炉 II に入れ, それぞれ所定の温度に加熱し, 不純物側から試料側に 1~1.5 l/min の割合でキャリアガスを流し, 高温に加熱された Si 中に不純物を拡散し, P-N 接合を形成した。拡散用不純物としては, ほう素の場合には  $\text{B}_2\text{O}_3$  を, りんでは  $\text{P}_2\text{O}_5$  を使用した。キャリアガスは窒素と酸素について行ったが, 光電特性は後述のように, ほう素の場合には酸素よりも窒素のほうが, またりんではほう素とは逆に窒素よりも酸素のほうが良好な結果が得られたので, もっぱらキャリアガスとして, ほう素の拡散には窒素を, りんには酸素を用いた。不純物側の温度は  $\text{B}_2\text{O}_3$  では  $900 \sim 1,200^\circ\text{C}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  では  $200 \sim 250^\circ\text{C}$  程度である。

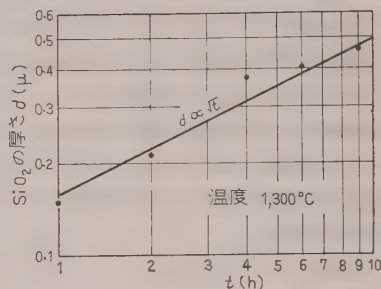
第3図は拡散時間  $t$  を一定 (5 h) にしたときの, ほう素とりんについての拡散温度  $T$  と接合の深さ  $x_0$  との関係を示したもので, (3), (4) 式で与えられるように,  $\ln x_0^2$  と  $1/T$  はほぼ直線関係が満足されており, これよりほう素とりんの Si 中における活性化エネルギー  $\Delta H$  を求めると, それぞれ 78, 82 kcal であった。このほう素の活性化エネルギー値は Fuller 氏



第3図 拡散温度と接合の深さとの関係



第4図 拡散時間と接合の深さとの関係

第5図 拡散時間と  $\text{SiO}_2$  の厚さ  
(酸素中でりんを拡散した場合)

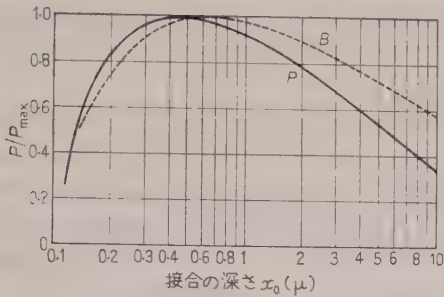
の求めた 85 kcal よりもだいぶ小さく, Dunlap 氏や Kurtz 氏らの求めた 81 kcal に近い値である。第4図は拡散温度一定 ( $1,300^\circ\text{C}$ ) のときの  $\ln x_0$  と  $\ln t$  との関係で, ほう素とりんの場合の傾斜はそれぞれ 0.48, 0.43 となり (3) 式で示される理論値の 0.5 にほぼ等しい。なお, この接合の深さは Si 表面の酸化皮膜  $\text{SiO}_2$  を除去した値で, 第5図はこの酸化皮膜  $\text{SiO}_2$  の厚さと拡散時間 (拡散温度  $1,300^\circ\text{C}$ ) との関係を示したものである。この  $\text{SiO}_2$  の厚さは  $\text{SiO}_2$  の密度を  $2.2 \text{ g/cm}^3$  として重量損から算出した。

#### 4. 拡散形 Si P-N 接合特性

(4.1) 拡散条件と光電特性 接合光電特性は前述のように P-N 接合の深さ, 表面濃度, 濃度こう配などに大きく支配され, したがって P-N 接合形成にあたり, その拡散条件により光電特性は著しく左右される。

普通, 太陽電池などでは P-N 接合部の表面からの深さは  $2 \mu$  前後が良好とされているが, まずこれを確かめるために拡散条件をいろいろ変化してその光電特性を調べた。第6図は P 形 Si にりんを, N 形 Si にほう素をそれぞれ拡散したものの接合の深さと太陽電池としての出力電力との関係を様式化して示したものである。ここで同図横軸の深さ  $x_0$  の値は実測するにはあまり小さすぎ, 実測が困難であったので, 第3





第 6 図 接合の深さと太陽電池の  
出力電力との関係

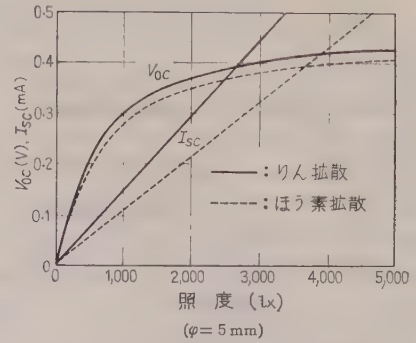
図、第 4 図の実測値より外そうして求めた値である。  
また、この測定に供した試料は表面の酸化皮膜  $\text{SiO}_2$  による光の反射、吸収などの二次的な影響を無視できるように、いずれの試料も測定にさきだち表面を HF で洗浄し  $\text{SiO}_2$  を除去した。同図でみるように拡散温度  $1,000 \sim 1,100^\circ\text{C}$ 、拡散時間  $0.5 \sim 1$  h 程度のものでは接合の深さが  $0.5 \mu$  前後のごく浅いところで両者とも極大に達している。なお不純物側の温度は  $\text{P}_2\text{O}_5$  では  $230^\circ\text{C}$  前後、 $\text{B}_2\text{O}_3$  では  $900 \sim 1,000^\circ\text{C}$  のときもとてもよい特性のものが得られた。また、このときの両者の表面不純物濃度は、りんでは  $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、ほう素では  $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  であった。またキャリアガスは窒素と酸素について調べたが、 $\text{P}_2\text{O}_5$  では窒素よりも酸素のほうが 10 % 内外良好であったが、 $\text{B}_2\text{O}_3$  の場合は逆に窒素のほうが光電特性はよく、酸素を用いた場合には表面不純物濃度が  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  に減少すると同時に光電特性も 10~20 % 近く低下した。この表面不純物濃度が酸素の場合には窒素にくらべて減少する理由として、

(1) 酸素中では  $\text{B}_2\text{O}_3$  が熱分解しにくい。

(2)  $\text{SiO}_2$  膜の形成によりほう素が Si 中に拡散しにくくなる。

の二つがまず考えられるが、このうち (1) のほうは拡散の前後における  $\text{B}_2\text{O}_3$  の重量損の測定から否定され、(2) について調べるため、ほう素の拡散にさきだち Si 表面に  $\text{SiO}_2$  の酸化皮膜を形成してのち、ほう素を酸素中で拡散すると、ほう素は Si 中に全く拡散せず、伝導形が変化しないことが認められ、このことから (2) の理由によるものと推定した。すなわち、ほう素を酸素気流中で拡散すると、拡散途上において Si 表面が酸化し  $\text{SiO}_2$  の酸化膜が形成され、この  $\text{SiO}_2$  の膜のために  $\text{SiO}_2$  膜の形成以後はほう素の拡散が阻止されるためであろうと考えられる。

第 7 図は 100 W タングステン線ランプで照射したときの両者の代表的な光電特性を示したもので、基材 Si



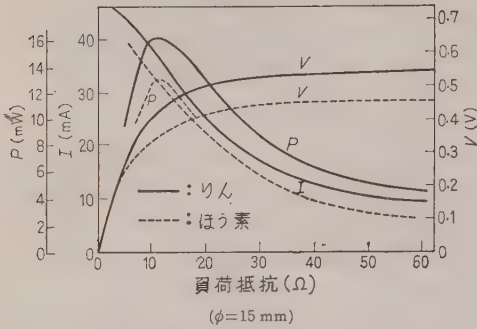
第 7 図 りんおよびほう素を拡散した  
Si P-N 接合の光電特性

の固有抵抗の数種について調べた結果、いずれも N 形 Si にほう素を拡散したものよりも、P 形 Si にりんを拡散したもののほうが一般的に良好な光電特性が得られた。このりんを拡散したもののほうが光電特性のすぐれている理由として、次のようなことが考えられる。まず前述のように表面不純物濃度がりんの場合には  $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  に達するのにくらべて、ほう素では  $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  で約 2 けた小さく、拡散層 (ほう素の場合には P 形層、りんの場合には N 形層) の固有抵抗は、りんを拡散したもののほうが小さいと思われる。すなわち、この層の固有抵抗が小さいと理論的にもすでに明らかにされ、また筆者も先に実測したように、<sup>(1)</sup> 開放端光電圧が高くなる。またいわゆる光電池の直列抵抗も小さくなり、短絡光電流も大きくなる。さらに考えられることは、Logan 氏や Fuller 氏ら<sup>(4)</sup> が明らかにしているように酸素が Si 中でドナーとして作用するということである。すなわち P 形 Si にりんを拡散して N 形層を形成する場合、酸素もこれに加わり、P を N に変換する方向に作用するに反し、N 形 Si にほう素を拡散して P 形層を形成する場合には、 $\text{B}_2\text{O}_3$  の熱分解で遊離した酸素などがこの変換を阻止する方向に作用する効果である。これらのことがらは、前のほう素を窒素と酸素で拡散したときの両者の相違に関してもいえることである。なお、この酸素の挙動に関しては後に改めて実験を行った。

$\text{SiO}_2$  の皮膜を除去しないで、りんとほう素を拡散したものを比較すると、両者の特性の差はより大になった。これは表面における光の反射損を  $\text{SiO}_2$  皮膜が軽減するためと思われる。一般に反射率  $\gamma$  は垂直入射光の場合屈折率を  $n$  とすると

$$\gamma = (n-1)^2 / (n+1)^2 \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる。Si の屈折率は  $n \approx 3.4$  であり、反射を軽減するためには大気と Si の中間の屈折率を有するものを中間に入れると反射は減少する。 $\text{SiO}_2$  は  $n \approx$

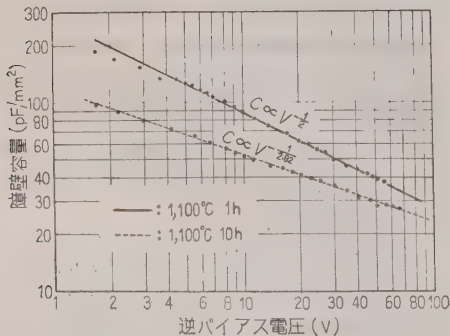


第 8 図 拡散形 Si P-N 接合の負荷抵抗を変化したときの出力電圧，電流，電力の関係

2 でちょうどこの作用をし、表面反射の軽減に役立ち、したがってりんの場合には酸素で拡散する結果  $\text{SiO}_2$  が表面に形成されるので光電特性はさらに向上する。加うるに  $\text{SiO}_2$  は光電池表面をあたかもガラスで被覆した状態にあり、光電池の保護の面からも有用である。もちろん  $\text{SiO}_2$  はほう素を窒素中で拡散しても形成されるが、これらの効果をもたすほど完全な皮膜ではないようである。

第 8 図は P 形 Si にりんを拡散した試料の快晴時の太陽光線照射下 (Se 照度計で 105,000 lx) における負荷抵抗に対する出力電流，電圧および電力の関係で、対比するために N 形 Si にほう素を拡散したものの特性も破線で示した。ほう素の場合，開放端飽和光電圧は 0.46 V に対してりんでは確実に 0.55 V の値が得られた。なお，太陽光線の放射エネルギーを 100  $\text{mW}/\text{cm}^2$  として最適負荷における最大出力との比より変換効率を求めると，りんで最高 10.5%，平均 8%，ほう素で平均 6.5% であった。

(4.2) 拡散条件と接合部の濃度こう配 一般に合金法により作られる P-N 接合はいわゆる階段状で，障壁容量  $C$  と逆バイアス電圧  $V$  とは  $C \propto V^{-1/2}$  の関係にある。一方，拡散法によるものでは傾斜状で  $C \propto V^{-1/3}$  の関係になるとされているが，拡散条件を適当にすると  $C \propto V^{-1/2}$  の階段状接合をも作りうる事が可能であった。



第 9 図 障壁容量の逆バイアス電圧依存性

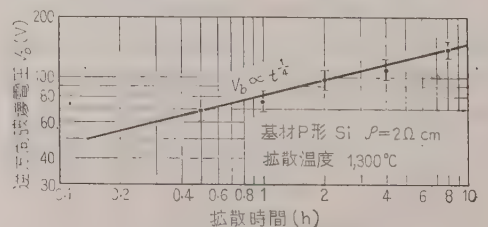
第 9 図の実線は光電特性の極大値を与える拡散条件すなわち 1,100°C で 1 h りんを拡散した試料の障壁容量の逆バイアス依存性を示したもので， $C \propto V^{-1/2}$  となり，いわゆる階段状である。同図破線は拡散時間 10 h に対する実測値で， $C \propto V^{-1/2.82}$  で普通拡散法で作られたものについての傾斜に近くなっている。このように短時間で拡散を行うと合金法と同様，階段状接合になり，拡散時間が長くなるにしたがって  $C \propto V^{-1/3}$  からずれ  $C \propto V^{-1/3}$  に漸近し，傾斜状接合へと変移する。この理由は第 1 図で示されているように (2) 式の濃度分布の式から説明されうる。接合部における不純物の濃度こう配  $a$  は (2) 式を  $x$  について微分し

$$a = \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right)_{x=x_0} = - \frac{C_s}{\pi D t} \exp \left( - \frac{x_0^2}{2V D t} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

で与えられ，拡散時間が長く接合の深さが深くなるにしたがって濃度こう配は小さくなる。それゆえ拡散時間とともに階段状から傾斜状に変移する。なお同図の実線と破線を比較すると，後者のほうが容量の値が小さいが，これは傾斜状になるにしたがい，接合部の遷移領域の厚さが増加するためと思われる。

ここで一つの問題が提起される。すなわちこの不純物の濃度こう配と光電特性との直接的な関係である。第 6 図に示したように光電特性の極大値を与える拡散条件ではその不純物濃度分布は明らかに階段状であるが，第 6 図に示したように，接合の深さがさらに深くなり傾斜状接合に近づくにつれ光電特性は低下している。この低下の原因は濃度こう配による接合部の本質的な効果であるのか，または前述のように接合の深さの増加による障壁部に到達する光エネルギーの減少の効果であるかを分離測定することは困難で，濃度こう配と光電特性との関係は実測できなかった。

一方，整流特性における逆方向電流の増加ははじめの電圧値については明らかに濃度分布の影響が観測された。第 10 図は拡散時間すなわち不純物の濃度こう配



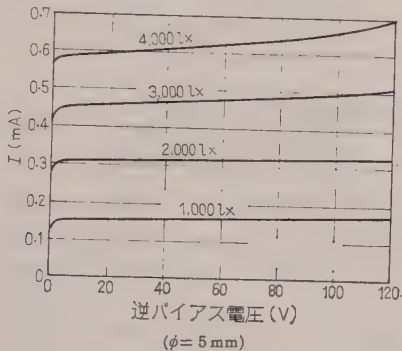
第 10 図 拡散時間と逆方向破壊電圧との関係



配に対する逆方向破壊電圧値で、拡散時間が長く傾斜状接合に近づくにつれその電圧値は上昇し、実測値は同図に示すように、破壊電圧  $V_b$  は近似的に  $V_b \propto t^{1/4}$  である。これは濃度こう配が緩慢になるにしたがって接合部に加わる電界強度が減少するためである。

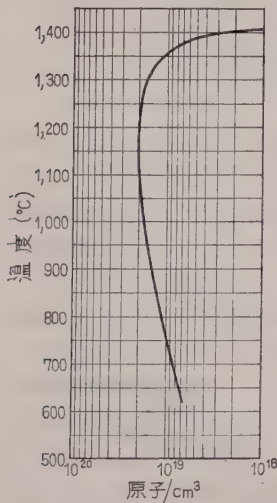
(4-3) 拡散形 Si フォトダイオードおよびフォトトランジスタ 光信号を電気信号に変換する目的に対しては、光電池に逆バイアス電圧を印加した状態で使用するほうが有効である。

フォトダイオードはいうまでもなく前述の光電池素子に逆方向電圧を印加した状態で光を照射するもので、第 11 図は P 形 Si にりんを拡散した試料のフォトダイオード特性の一例を示したもので、暗流はバイアス電圧 100 V で  $1 \mu A$  以下である。



第 11 図 フォトダイオード特性

フォトダイオードをさらに高効率的使用するには、いま一つの P-N 接合部を付加し、P-N-P または N-P-N 構造とし、いわゆる Hook 作用で光量子によって発生したキャリアを増倍するほうが望ましい。この

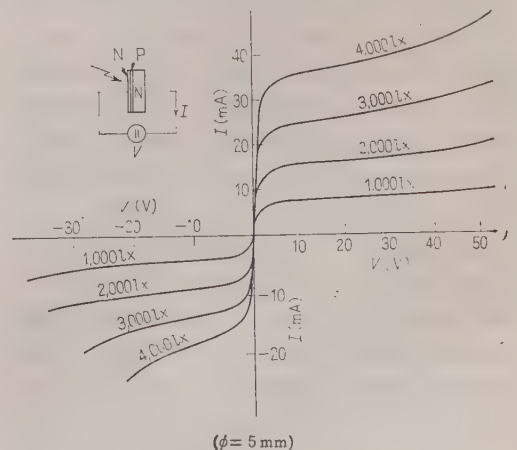


第 12 図 Al の Si 中への溶解度曲線

目的に対して筆者は最初 P 形 Si にりんを拡散して、まず前述のような P-N 接合を作り、このりんを拡散した N 形層にさらにさきに筆者らが報告した加熱蒸着法で Al を蒸着アロイし、いま一つの P-N 接合を作り P-N-P フォトトランジスタを試作したが、結果的には望ましい特性のものは得られなかった。それは Al

純物濃度が大きすぎるためである。前述のように  $1,100^\circ C$  でりんを拡散した場合、その表面不純物濃度は  $10^{20}/cm^3$  のけたで非常に大きい、これに反し Al の Si 中への溶解度は第 12 図に示すように最高  $2 \times 10^{19}/cm^3$  の程度で、これではりんを含んだ N 形拡散層を P 形に変換するには不足で、P 形変換を起させるためには相当深いところまで Si と Al の合金化をすることが必要で、そのためには高温で Al をある程度厚く蒸着させなければならず、このことは光の透過の点から好ましくなく、両者の要請事項が相反する結果となり望ましくない。したがってこの方法によるフォトトランジスタの試作は一応可能ではあったが、その増倍率はせいぜい 2~3 倍程度で実用的価値は少なかった。そこで筆者は一応この方法は放棄し、前述のほう素とりんの拡散技術により N-P-N 形フォトトランジスタを試作した。

まず数オームセンチメートル程度の N 形 Si に前述の方法でほう素を  $1,150^\circ C$  で 4 h 拡散し、表面に厚さ約  $5 \mu$  の P 形層を形成する。このときの  $B_2O_3$  の温度は  $800 \sim 900^\circ C$  で表面不純物濃度を  $10^{18}$  程度以下に押えておく。ほう素を拡散後その表面を HF で洗浄し、 $SiO_2$  を除去したのち、改めてこの試料を  $1,150^\circ C$  で 0.5~1 h 程度りんを P 形層中に拡散し、 $1 \sim 2 \mu$  程度の P 形層を中間に有する N-P-N 形フォトトランジスタを試作した。第 13 図はこの試作フォトトランジスタの特性を示したもので、第 11 図のフォトダイオードと比較すると、その増倍率は 55 程度に達する。この増倍現象は光が接合部に当たると、光エネルギーによって励起された正孔が中間の P 形障壁にトラップされ、その障壁にできている空間電荷を中和するため、障壁の高さが低くなり、電子が陰極側 N 形層から陽極側 N 形層へ容易に移行する結果で、いわゆる



第 13 図 N-P-N フォトトランジスタ特性

Hook 作用に基づくもので、一般にその増倍率  $\alpha$  は近似的に次式で与えられる。

$$\alpha = 1 + (\sigma_n L_{pn} / \sigma_p w) \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $\sigma_n$ ,  $L_{pn}$ : 陽極側 N 形領域の導電率および正孔の拡散距離,  $\sigma_p$ ,  $w$ : 中間の P 形領域の導電率およびその幾何学的な幅 (厚さ)

もしも両者の P-N 接合が全く対称 (幾何学的ならびに電気的に) ならば印加電圧の極性を反転しても光電特性は全く対称になるはずであるが、実際には第 13 図に示したようにかなり非対称な特性である。これは構造的にくる必然的な結果として、一方の接合面のほうが光が到達しやすく、光量子の吸収の割合が両接合で異なるためであるが、またこのような幾何学的構造からくる非対称のほか、両接合の電気的特性の非対称もみのがせない。これは拡散技術の向上により改善されうものと思われる。また増倍率  $\alpha$  は (7) 式で示したようにベース幅 (中間の P 形層の厚さ) に逆比例するので、この幅をより小さくすることにより増倍率  $\alpha$  の増大が期待できる。なおこの N-P-N 形フォトトランジスタの暗流は、第 11 図のフォトダイオードにくらべ約 1 けた以上大きく 50 V で 13  $\mu$ A ぐらいである。

### 5. Si 中への酸素の拡散

ほう素およびリンの拡散にあたり、キャリアガスとして酸素を用いた場合、その酸素も Si 中へ拡散し、P-N 接合形成に影響をおよぼすように思われたので、筆者はこの酸素の Si 中への拡散について調べてみた。

Si 中の酸素の挙動については現在まで各方面から研究され、450°C 前後の熱処理で Si 中の酸素がドナーに変換することがすでに明らかにされている。<sup>(4)</sup>

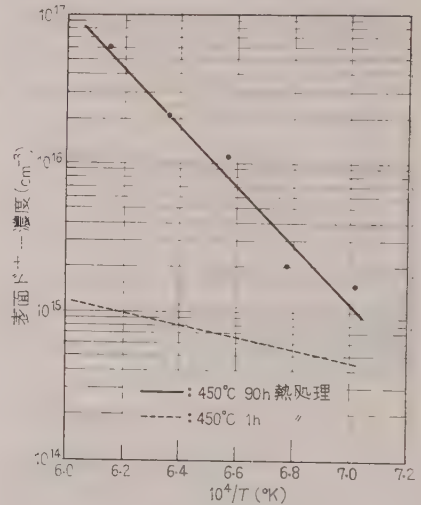
本実験で用いた試料は 450°C の熱処理でドナー生成が無視できるような酸素含有量の少ない P 形 Si を用いた。この P 形 Si を第 2 図に示した拡散装置の電気炉 I に入れ、Si を酸素気流中で 1,000~1,350°C までの温度で 1 h 加熱したのち、450°C で 90 h 熱処理し、拡散した酸素をドナーに変換し、このドナーが (2) 式の誤差関数にしたがって分布するものとして、Si 中に発生する表面ドナー濃度およびそのドナーの Si 中への実効拡散定数を求めた。表面ドナー濃度は Backenstoss 氏の方法<sup>(5)</sup>で算出し、ドナーの実効拡散定数は (2) 式を  $D$  について解いて

$$D = \frac{1}{4t} \left[ \frac{x_0}{\arg \operatorname{erf} \{ 1 - (C_0/C_s) \}} \right]^2 \dots\dots\dots (8)$$

第 1 表 酸素の拡散温度と酸素拡散後 450°C で 90 h の熱処理後 Si 中に発生するドナーに対する各種定数

$T(^{\circ}\text{C})$	$x_0(\text{cm})$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\rho_s(\Omega)$	$C_s(1/\text{cm}^3)$ ( $\times 10^{-16}$ )	$D(\text{cm}^2/\text{s})$ ( $\times 10^{-16}$ )
1,100	0.1~0.2(?)	$10^5$	1~0.5(?)	?
1,150	0.5	13,250	1.5	0.23
1,200	1.2	3,972	2.0	1.01
1,250	2.2	584	12.0	1.3
1,300	3.0	292	21.0	2.14
1,350	5.3	94.4	60	5.0

ただし、 $C_0$   $3.2 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ ,  $t=1$  h, 酸素気流中

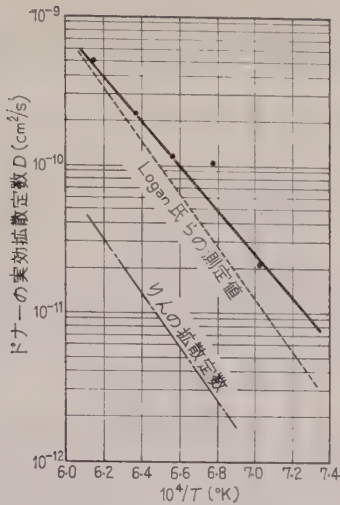


第 14 図 酸素の拡散温度と表面ドナー濃度

より、 $x_0$ ,  $C_0$  および  $t$  の実測値を代入して算出した。第 1 表は固有抵抗 55  $\Omega\text{cm}$  ( $C_0=3.2 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ ) の P 形 Si に酸素を拡散した試料のこれらの値を表記したものである。

第 14 図は酸素の拡散温度と表面ドナー濃度との関係を示したもので、実線は酸素拡散後 450°C で 90 h 熱処理したもので、同図破線は 450°C で 1 h 熱処理した試料のドナー濃度である。ただし、この破線のほうはあまり濃度が小さすぎ、実測が困難であったので、基材 P 形 Si の固有抵抗値をいろいろ変えた試料について、その表面伝導形の変換の様子から推測した値である。第 15 図は Si 中へのドナーの実効拡散定数を温度に対してプロットしたもので、同図破線は Logan 氏<sup>(6)</sup>の求めた値で、実測値は Logan 氏らの値よりやや大きい。なお同図には比較のため、リンの拡散定数も示したが、この場合のドナーはリンよりも 1 けた以上大きな実効拡散定数を有している。





第 15 図 Si 中へのドナーの  
実効拡散定数

## 6. ドナー不純物として酸素を拡散 した Si P-N 接合特性

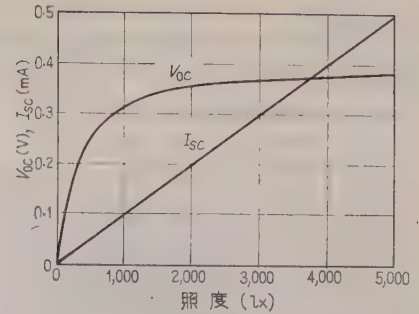
酸素を Si 中に拡散し、のち適当に熱処理すると酸素がドナーに変換し、そこに P-N 接合が形成されることが確かめられたので、この P-N 接合の各種の特性を調べてみた。

固有抵抗の異なる各種の P 形 Si を酸素気流中で 1,000°C 以上で 1h 加熱し、のちこの試料の表面の一部を HF で洗浄し、他面を 4 HNO<sub>3</sub>+HF で腐食して P 形 Si の地肌を露出させ、それぞれ電極端子として P 形 Si 面は全面に、N 形酸素拡散面は受光部分以外の周辺部に金を蒸着したのち 450°C で 1h 熱処

第 2 表

固有抵抗 ( $\Omega\text{cm}$ )	拡散温度 (°C)	$I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ )	$V_{oc}$ (V)
2,500	1,300	240	0.30
200	"	290	0.35
55	"	380	"
3.5	"	12	0.04
2,500	1,200	260	0.31
200	"	380	0.36
55	"	443	0.35
3.5	"	21	0.16
2,500	1,100	125	0.28
200	"	400	0.36
55	"	510	0.38
3.5	"	31	0.21
2,500	1,000	8	0.09
200	"	19	0.1
55	"	43	"
3.5	"	—	—

注：酸素気流中にて 1 h



第 16 図 酸素を拡散して形成した  
P-N 接合の光電特性

理し、表面を 100 W タングステン線ランプで照射して光電特性を測定した。第 2 表は基材 P 形 Si の固有抵抗および熱処理温度などを各種変化したときの 5,000 lx の照度下における短絡光電流  $I_{sc}$ 、(接合面積はいずれも直径 5 mm の円) 開放端光電圧  $V_{oc}$  の値の一例である。加熱温度が 1,000°C 以下ではいずれの試料についても接合の存在は認められず、さらに窒素気流中および真空中で Si を加熱したものは酸素気流中のものにくらべ、光電特性は極度に劣っている。なお光電特性のもっともすぐれている試料は基材 P 形 Si の固有抵抗数十オームセンチメートルのものを酸素気流中で 1,100°C で 1 h 前後熱処理したもので、その光電特性を第 16 図に示す。この特性を第 7 図のほう素およびりんを拡散したものと比較すると、りんを拡散したものにはおよばないが、ほう素を拡散したものに充分比肩しうるものである。

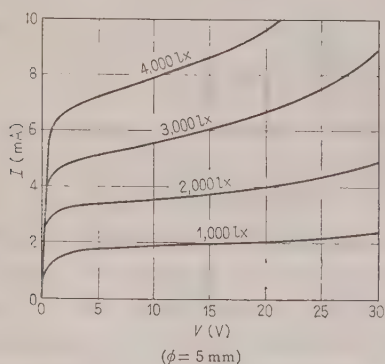
固有抵抗が数十オームセンチメートルよりも高い試料では低照度における光電流はほとんど固有抵抗には無関係であるが、高照度になるにしたがい直線性からずれ、光電流は飽和する傾向にある。特に固有抵抗が高くなるにつれ飽和現象は顕著であった。これは固有抵抗があまり高くなると結晶自体の抵抗が光電池の直列抵抗としてきいてくるためと思われる。また固有抵抗が高くなると、開放端光電圧が減少するのは既述のように理論的にも明らかである。逆に固有抵抗が数十オームセンチメートルよりも小さくなると、光電特性としては望ましいわけであるが、今度は接合が完全に形成されず、したがって第 2 表に示すように数十オームセンチメートルの固有抵抗のものがもっともよい光電特性を示す結果となる。しかし 450°C の熱処理時間を 90 h にすると、第 14 図に示したようにドナー濃度が増加するので固有抵抗数十オームセンチメートルのものでも試料によっては P-N 接合が形成され、相当よい光電特性を示すものもあった。

1, 100°C で酸素を 1 h 拡散した P-N 接合の障壁容量の逆バイアス依存性は  $C \propto V^{-1/2.4}$  でいわゆる階段状と傾斜状との中間値を示した。りんでは第 9 図に示したように、この程度の拡散条件では  $C \propto V^{-1/2}$  であるのにくらべ、酸素によるドナーでは  $-1/2$  と  $-1/3$  の中間の値を示す理由は、このドナーの実効拡散定数がりんよりも 1 けた大きいことに起因していると思われる。

以上の実験結果から、酸素含有量の少ない P 形 Si に酸素だけを拡散することにより P-N 接合が形成でき、光電特性においてはほう素の拡散形に充分比肩できうる特性のものが得られることが確かめられた。

筆者はここでこの酸素の拡散と既報の加熱蒸着法の技術とを組み合わせる P-N-P フォトトランジスタを試作した。酸素を拡散した場合には第 14 図に示したように表面ドナー濃度は  $10^{17}/\text{cm}^3$  以下であり、一方、第 12 図で示される Al の Si 中への溶解度曲線からみるように、Al 濃度は 650°C で  $7 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  以上の値であるので、この場合には充分伝導形を変化させるはずである。

まず固有抵抗  $55 \Omega \text{cm}$  の P 形 Si を 1, 100°C で 1 h 酸素気流中で加熱し、のち HF で洗浄し  $\text{SiO}_2$  を除去する。この試料を真空中で 700°C 前後に加熱して Al を約  $0.4 \mu$  の厚さに蒸着し、そののち、この試料を 450°C で 90 h 熱処理する。この熱処理過程で拡散した酸素はドナーに変換し、Si の一部を N 形に変換する。



第 17 図 P-N-P フォトトランジスタ特性

この変換 N 形層の表面の一部は Al の蒸着アロイにより一部 P 形に変換し、その結果 P-N-P が形成される。

第 17 図はこの形の P-N-P フォトトランジスタの光電特性で、増倍率は約 12 でやや小さく、第 13 図の N-P-N 拡散形フォトトランジスタの特性と比較するとかなり特性が劣っている。しかし、製作技術の向上によりさらに改良されるものと思われるし、また将来、各種の使用目的に対してこのようないろいろの技術の総合による接合形成法が有意義と思われる。

## 7. 結 言

太陽電池などの光電装置の製作法は従来 N 形 Si にほう素を拡散したもので代表されたが、むしろ反対に P 形 Si にりんを拡散したもののほうが製作技術はもとより、他のいろいろの面からしてすぐれていることが認められた。また、ほう素とりんとの拡散を組み合わせることによって増倍率 55 程度の N-P-N 形フォトトランジスタを試作した。

さらに P 形 Si 中へ酸素だけを拡散することにより従来のドナー不純物元素を全く用いることなく P-N 接合が形成できた。これは光電池としてほう素の拡散形に充分比肩できうるもので、接合形成の一方法として技術的にも興味をもたれ、現象論的にも興味ある問題を含んでいる。たとえば、Epitaxial 技術などへの導入によって独自の効果を発揮する希望ももたれている。

終りに本研究の全般について絶えずご指導にあずかった本学酒井善雄教授に厚くお礼申し上げます。また精密微量天秤で重量損を測定して下さった本学資源化学研究所神原研究室の方々にお礼申し上げます。

(昭和 36 年 3 月 6 日受付, 同 6 月 8 日再受付)

## 文 献

- (1) 酒井・高橋：電学誌 **80**, 43 (昭 35)
- (2) 酒井・高橋：昭 35 連大 1475
- (3) 酒井・高橋：昭 35 東京支部大会
- (4) C. S. Fuller & R. A. Logan: J. appl. Phys. **28**, 1427 (1957)
- (5) G. Backenstoss: Bell Syst. tech. J. **37**, 699 (1958)
- (6) R. A. Logan & A. J. Peters: J. appl. Phys. **30**, 1627 (1959)



UDC 535.376.09 : 620.193.91

## 電 気 ル ミ ネ セ ン ス の 経 時 変 化\*

資料・論文

36-126

正 員 中 村 孔 治†

## 1. 結 言

電気ルミネセンス層を実用に供する場合、もっとも重要な因子の一つとしてその経時変化、特に輝きの劣化の問題があげられる。現在までに EL 発光の劣化に関する論文は少なく、筆者は EL の実用化を目的として本論文のような研究を推進させた。

本論文では各種 EL けい光体を用いて製作した EL 層の輝きの経時変化を中心にして測定結果を記述し、これに関して検討を加えた。さらに輝きの経時変化に伴う EL 層の EL 発光強度の電圧依存性の変化、EL 発光波形の変化の状態、フォトルミネセンスの変化、誘電特性の変化、光電流および暗流の変化を測定して EL の劣化機構を明らかにした。

## 2. 実験装置および実験方法

## (2・1) 実験装置

(a) 寿命試験用発振器 下記のような性能を持つ発振器を製作した。

周波数 50 c/s~5 kc

電 圧 0~1,000 V(rms)

(b) 測光用セレン光電池 経時変化の測定にはおもに東芝製 5 号照度計用セレン光電池を用いた。セレン光電池は温度、湿度などによる特性の変化があるが、それによる誤差を防止するために標準電球によって測光のつど校正した。

(c) 誘電特性測定装置 安藤電気製 TR-1B 形広帯域誘電体損測定器を用いた。第 1 図にその外観、第 2 図にその構成図を示し、性能を下記に示す。

(i) 使用周波数 (測定可能周波数帯域): 30 c/s~5 Mc

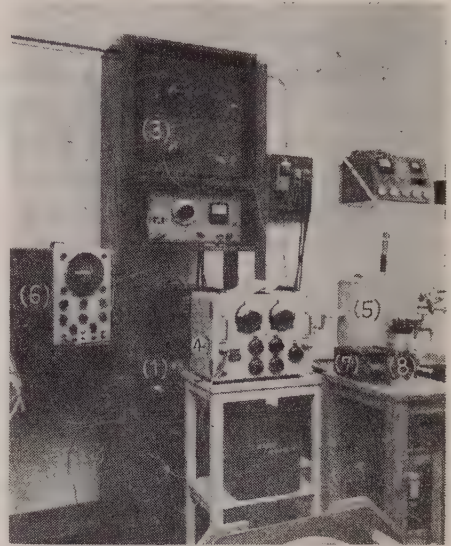
(ii) 静電容量: 最大 150 pF, 精度 0.1 pF (ブリッジ本体だけ)

(iii) 誘電体損角: 約  $10^{-4}$ ~ $10^{-1}$

(d) 供試 EL 板 EL 板は 5×5 cm で EL 層は約 60 μ である。

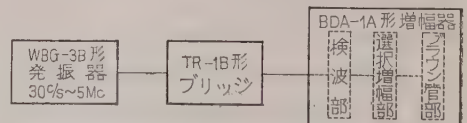
## (2・2) 実験方法

(a) 輝きの経時変化 製作した EL 板を用いて



- (1) 広帯域誘電体損測定器電源部分  
(2) " BDA-1A 形増幅器  
(3) " WBG-3B 形発振器 30 c/s~5 Mc  
(4) " TR-1B 形ブリッジ  
(5) 試料容器 (ロータリーポンプによって排気可能、温度可変)  
(6) 平衡検出用ブラウン管オシロスコープ  
(7) 温度指示用ミリボルトメータ  
(8) 温度測定用サーモジャクソン用魔法びん

第 1 図 TR-1B 形広帯域誘電体損測定器



第 2 図 TR-1B 形広帯域誘電体損測定器による装置の構成図

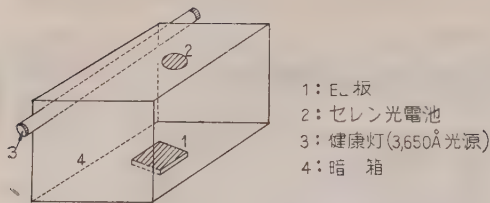
規定の周波数において輝きの電圧依存性を測定する。次にその EL 板を、規定の周波数および電圧で発光させ経時変化試験を行い、規定時間経過後、最初と同じ方法で規定周波数において輝きの電圧依存性を測定する。そしてさらに経時変化試験と輝きの電圧依存性の測定をくり返して行う。

各測定点においては、セレン光電池の校正を標準電球を用いて行った。

(b) フォトルミネセンスの測定 経時変化の測定とフォトルミネセンスの測定を平行的に行った。すなわち、経時変化の途中フォトルミネセンスの測定を

\* Deterioration Problem of Electroluminescences. By K. NAKA-MURA, Member (Hitachi Ltd.).

† 日立製作所電子管事業部技術部半導体技術課



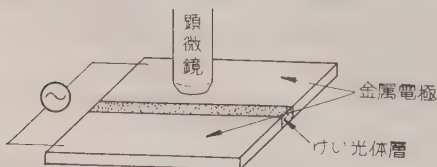
第3図 フォトルミネセンス測定装置

行って EL の経時変化とフォトルミネセンスの関係を調べた。この場合第3図に示すような装置を用いた。暗箱中は反射防止の目的で黒色の反射防止用塗料を塗った。また健康灯から  $3,650\text{\AA}$  を主とする光がセレン光電池にはいらないように、紫外部を吸収するフィルタをセレン光電池の前面においた。そして EL 板を1の位置においた場合のセレン光電池の出力を  $I_1$  とし、使用した EL 板と同じ導電ガラスに  $\text{TiO}_2$  粉末によって層を作り、これを EL 板の代わりに1の位置においたときのセレン光電池の出力を  $I_2$  とすると、 $I_1 - I_2$  が EL 板の反射を除いたフォトルミネセンス本来の光による出力ということになる。(光の反射は EL けい光体の場合と  $\text{TiO}_2$  の場合とでわずかの差異はあるがほぼ近似できる。また  $I_2$  は、暗箱および試料からの健康灯の光中可視光の部分の反射光がセレン光電池に入射して生ずる出力と考える。実測の  $I_2$  は  $I_1$  の 10% 以下の程度である。上記の理由で  $I_1 - I_2$  をフォトルミネセンス本来の光による出力とみなしてよい)

(c) 光電流、暗流の測定 EL 板の経時変化に伴う光電流、暗流の変化に関する測定方法は、まず EL 板に直流電圧 0~1,200 V を印加して EL 板に流れる電流をマイクロアンメータにて読みとり、次に  $3,650\text{\AA}$  の光源 (商品名でマナスライト) を用い、EL 板を照射した場合の電流値を読みとった。

(d) 誘電特性の経時変化に伴う変化の測定

本測定には第1図に示した装置を用いたが、測定方法として、製作した EL 板の誘電特性をまず測定し、規定の電圧、周波数を印加し、規定時間発光させたのち再び誘電特性を測定して、さらに同一条件で規定時間発光させたのち、誘電特性を測定する操作をくり返し行った。



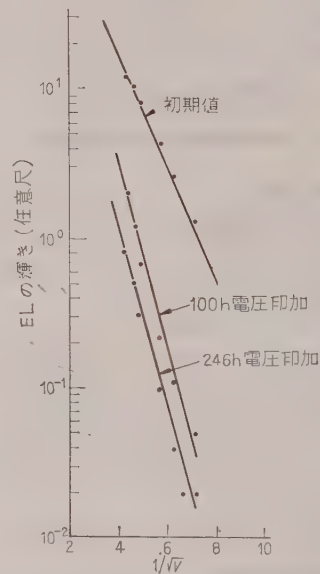
第4図 発光中の EL けい光体の光学顕微鏡による観測装置の略図

(e) 光学顕微鏡による観測 発光中の EL けい光体の発光スポットの経時変化に伴う変化の状態を光学顕微鏡を用いて観測した。この場合、観測には第4図で示したような装置を用いた。

### 3. 実験結果

(3・1) 輝きの経時変化 測定は A 社製 EL けい光体 (橙)(黄)(青白)を主として用い、 $50 \times 60 \text{ mm}$  の EL 板を各種とも四つの部分に分割した。印加した電圧は 200 V, 300 c/s; 200 V, 3,000 c/s; 350 V, 300 c/s および 350 V, 3,000 c/s の4種である。また経時変化の過程で 300 c/s と 3,000 c/s の二つの周波数において、EL の輝きの電圧依存性を測定した。

まず輝きの電圧依存性の経時変化に対する変化の模様を、輝き ( $B$ )、印加電圧 ( $V$ ) の関係で、すなわち  $\log B - 1/\sqrt{V}$  の特性の変化を第5図に例示した。劣化に伴って傾斜が増大する。



第5図 輝きの電圧依存性の経時変化に対する変化の模様

次に EL の輝きの時間に対する変化の模様を第6図 (a), (b) に例示した。以上の諸図から次の事項が結論される。

Zalm 氏の理論式

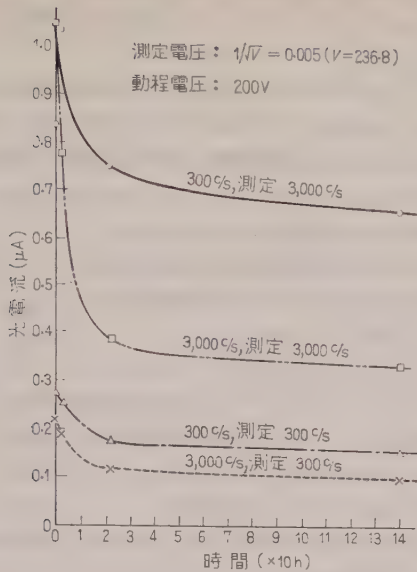
$$B = B_0 \exp(-b/\sqrt{V})$$

において  $b$  の値が経時変化に伴って大となる。

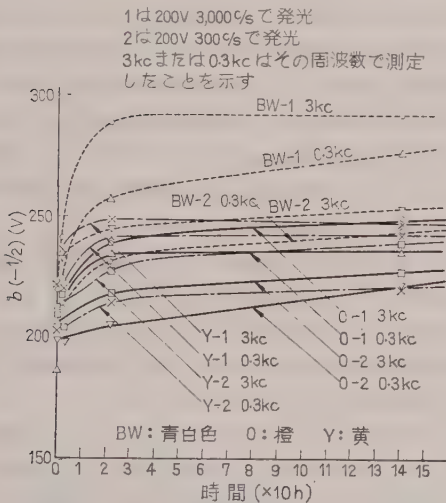
また EL の劣化は初期において非常に急激で、20 h 前後から劣化の割合が少なくなることがわかった。

次に印加する周波数が 300 c/s と 3,000 c/s の場合を比較すると、後者は前者にくらべて劣化が大きいこ





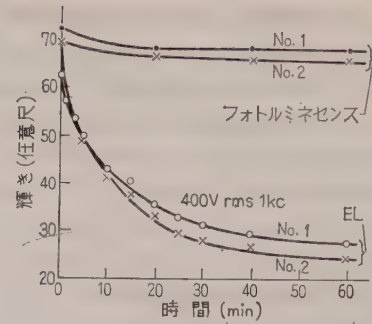
第 6 図 (a) 輝きの経時変化 (A社, 青白)

第 6 図 (b)  $b$  値の時間に対する変化

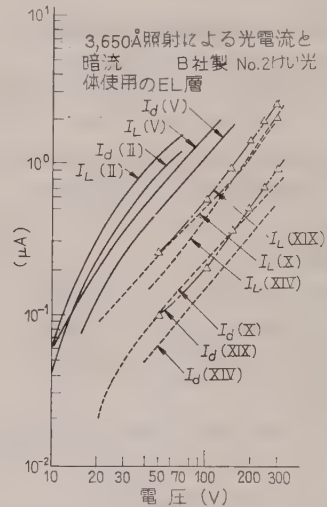
とがわかった。

(3・2) EL 経時変化に伴うフォトルミネセンスの変化 EL 現象とフォトルミネセンスとは経時変化の問題に関しては相関性が少ない。すなわち、EL 発光の経時変化が激しく減衰したにもかかわらず、フォトルミネセンスはほとんど変化していない。第7図にこれを例示する。

(3・3) 光電流、暗流の変化 EL 発光の劣化に伴う光電流、暗流の変化につき測定結果を例示すると第8図のようになる。測定結果から EL 劣化に伴って光電流、暗流がともに減少することが明らかになった。



第 7 図 EL 劣化とフォトルミネセンス (A社, 橙)

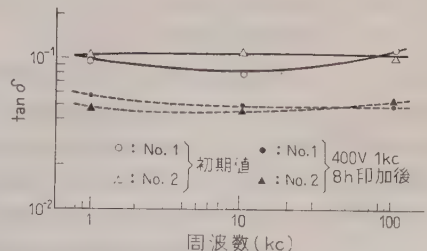


$I_L(II)$  と  $I_d(II)$ : (初期の光電流および暗流)  
 $I_L(V)$  と  $I_d(V)$ : (1h 発光後の " )  
 $I_L(X)$  と  $I_d(X)$ : (21h 発光後の " )  
 $I_L(XIV)$  と  $I_d(XIV)$ : (63h 発光後の " )  
 $I_L(XIX)$  と  $I_d(XIX)$ : (100h 発光後の " )

注: この間フォトルミネセンスはほとんど変化していなかった。

第 8 図 光電流、暗流の電圧依存性の経時変化

(3・4) 誘電特性の変化 製作した EL 板の  $\tan \delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$  などの誘電特性をまず測定しておき、EL 板に電界を印加して発光させて劣化後再び誘電特性を測定した結果、 $\tan \delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$  の値がそれぞれ初期の値に対して減少していることがわかった。  $\tan \delta$  に関する測定結果を第9図に例示する。

第 9 図 EL 発光の劣化に伴う  $\tan \delta$  の変化

(3・5) 光学顕微鏡による EL 発光の劣化観測 第 4 図に示すような測定方法で EL 発光をさせながら、発光スポットの経時変化の模様を観測した。その結果、発光スポットは時間の経過に伴って次第に個々の輝きが相対的に弱ってゆきスポットの数は変化しない。EL 板の輝きの減少は、それぞれのスポットのおおのが発光能力を失なっていくことに起因し、スポットの数が減少したというのではないことがわかった。

(3・6) 劣化に伴う発光波形の変化 劣化によって、EL 発光波形のいわゆる Secondary peak が劣化後に現われるようになる。

#### 4. 実験結果の検討

EL の輝きの経時変化とそれに関連する諸現象を以上に記述した。本節ではそれらの現象について考察を加え、終りに総合的に経時変化の機構を論ずる。

(4・1) “ $b$ ” 値の変化 第 5 図に示したように経時変化に伴って “ $b$ ” 値が変化する。その変化の様子は輝きが劣化するとそれに平行して “ $b$ ” 値は増大し、劣化速度が減少すると “ $b$ ” 値の増大する速度もこれと平行して減少する。そこで Zalm 氏<sup>(1)</sup>が仮定したように、けい光体層中の各発光の “ $b$ ” 値の分布を

$$p(b) = pb - q$$

と仮定すると、簡単な積分計算の結果、輝き  $B$  は

$$B = \int_{q/b}^{\infty} g(b) \exp\left(-\frac{b}{\sqrt{V}}\right) db$$

$$B \approx V \exp\left(-\frac{q}{p} V^{-1/2}\right)$$

と表わすことができる。

経時変化後 “ $b$ ” 値の分布が変化して  $q/p$  の値が大となったとすれば、いま層全体の  $b$  を  $\bar{b}$  で表わすと  $\bar{b}$  が当然大となる。

たとえば分布の傾斜  $p$  は一定で発光のしきい電圧が増大した場合には  $q$  だけ大となるから、しきい電圧増大に比例して “ $\bar{b}$ ” も増大する。

以上示したように “ $b$ ” の分布が変化すれば層の “ $\bar{b}$ ” は変化するが、いかなる機構で各発光点の “ $b$ ” の分布が変化するかを以下考察しよう。“ $b$ ” 分布の変化すると思える各場合を以下にとりあげる。

(a) けい光体結晶粒子に印加する電圧が実際に減少する場合 これはけい光体の誘電率と誘電体の誘電率との関係で決定される。もし劣化によってけい光体の誘電率が大となれば、これに印加される電圧は減少するはずである。あるいはけい光体表面に導電層が劣化によって生じて、電界が印加しなくなる可能性もある。しかし実測によって EL 層全体の誘電率と

$\tan \delta$  は減少しているので、けい光体自体の誘電率、導電率が增大しているとは考えにくい。

(b) Prebreakdown avalanche の生起の電圧依存性が変化する場合 ZnS けい光体のほとんどが立方体であって、それは透電破壊を生ずる [110] に等価な方向が多いからであると論じられているが、<sup>(1)</sup> ここでも透電破壊の問題と関連して論ずる。

Fröhlich 氏<sup>(2)</sup>は透電破壊を理論的に取り扱い、破壊の条件は次式で表現されると結論を得た。

$$-\left(\frac{dE}{dt}\right)_{熱} = \frac{e^2 F^2}{m} \tau(E)$$

$\tau(E)$ :  $E$  なるエネルギーを有する電子の緩和時間,  $F$ : 電子を加速する電界,  $e$ : 電荷,  $m$ : 電子の質量,  $-(dE/dt)_{熱}$ : 電子が熱の形でエネルギーを失う速度

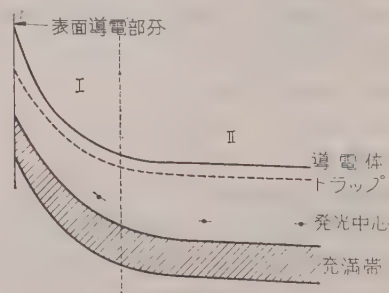
ここで  $\tau$  は電子の速度が  $V$  のとき平均自由行程  $l$  と次の関係をもつ。

$$l = \tau V$$

すなわち、 $\tau$  は平均自由行程に比例するものであるから、平均自由行程を短くするような要素はすべて透電破壊電圧を増大する。電子は不純物原子その他格子欠陥によって散乱され、あるいは捕獲されて  $l\tau$  が小となる。以上の理由から劣化に伴って格子中に欠陥ができ、これが原因となって Prebreakdown avalanche の生起する電圧が大となると推定される。

(c) Exhaustion barrier における電界強度の減少による効果 EL 発光に寄与するいわゆる一次電子の生成には熱的励起と電界励起が考えられるが、ここでは熱的励起は同一条件であるとして、電界励起に関して考察する。

第 10 図に簡単な EL けい光体のエネルギー模型を示したが、領域 I において一次電子を供給する電子トラップの深さ  $E$  は、当然あるエネルギー範囲に分布していると考えられる。領域 I に印加する電界を  $F$  とすると、励起されるトラップの深さ  $E$  と  $F$  との関係は次のように仮定できる。<sup>(3)</sup>



第 10 図 EL けい光体エネルギー帯模型



$$F = \text{const. } E^{3/2}$$

劣化によって領域Ⅰに印加される電界  $F$  が減少すれば、(その原因については種々考えられるがここでは原因については触れない) 励起されて一次電子となりうる電子の数は減少する。さらに  $F$  が減少すれば一次電子によって生ずる Prebreakdown avalanche により励起される中心数も減少して発光量は減少する。さらに一次電子の供給源がトラップだけでなく、導電部分から Barrier をトンネル効果で抜けてくると考えた場合にも、Barrier 部分の電界強度減少による一次電子の減少が考えられる。

(4・2) EL 経時変化に伴うフォトルミネセンスの変化 フォトルミネセンスを EL の経時変化と平行して測定したが、EL の輝きの減衰が大であるにもかかわらず、同じ EL 層のフォトルミネセンスの変化が少ないという事実は次のことを示唆している。

フォトルミネセンスは、EL けい光体の結晶中に分布している発光中心が関与し、EL 劣化に伴って、(4・1) 節で考察したような現象が生じていても、発光中心の数はあまり変化しない。

(4・3) 光電流、暗流の変化 光電流と暗流はともに EL 劣化に伴ってそれに平行して減少している。

光電流の変化に関しては、次の四つの条件が考えられる。

- (1) 電子移動度が減少する。
- (2) (1) と関連するが、特にトラップされる電子の数が多くなる。
- (3) 空間電荷が生じそれによる制限をうける。
- (4) けい光体粒子同志の接触点の Barrier が高くなる。

さらに暗流も光電流に平行して減少していることから、上記の 4 条件に、光電流の際にはマスクされてしまふと考えられる初期値に存在する自由電子の数が減少していることも考慮に入れる必要がある。

(4・4) 誘電特性の変化 EL 経時変化に伴って  $\tan \delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$  を測定したところ、経時変化後はそれぞれ初期の値に対して減少していることがわかった。

これはけい光体粒子中の自由電子の減少、もしくはその移動度の減少に起因するものと考えられる。

(4・5) EL 発光波形の変化 EL 発光波形観察の結果、劣化後において低周波数で顕著な Secondary peak が生じた。これは劣化後深いトラップ準位が生じたことに起因すると推定できる。

(4・6) EL けい光体の黒化現象 EL 層をある種の EL けい光体を用いて作った場合、経時変化とともに

に EL けい光体が黒化する現象を認めた。ZnS けい光体に関する黒化の問題は塩谷氏<sup>(5)</sup>が詳細に研究を行っている。

ここでは EL けい光体の黒化現象に関して簡単に触れよう。

筆者は EL けい光体を用いて、高圧水銀灯のもとで黒化現象を観測した。用いたけい光体は B 社製 (緑 No. 2) と A 社製 (緑 60 G) である。前者にくらべて後者の黒化度大であった。特に水を霧状にけい光体上に吹きかけたのち、紫外線で照射すると黒化は顕著であった。

EL の経時変化に伴って EL けい光体の黒化も観察されるが、これも紫外線照射の場合と傾向同一で、B 社 (No. 2) にくらべて A 社 (60 G) は黒化大であった。

また EL けい光体を真空中で湿気の影響をたって測定すると、EL の経時変化に伴う黒化は両者ともほとんど観測されなかった。以上の現象は塩谷氏の黒化現象に関する理論で説明できる。ただ EL けい光体の場合には、基礎吸収の代わりに Prebreakdown avalanche の作用で充満帯から導電帯に電子が衝撃を受けてあげられる点が異なっている。また EL 現象の場合には、電界の効果によって格子間イオンや正孔の移動が単なる光分解のときにくらべて、生じやすいと考えられる。

#### (4・7) 劣化速度と印加電圧および周波数との関係

劣化速度と動程中の電圧、周波数および測定電圧、周波数との関係をはくする目的で、動程中の電圧 200 V と 350 V、周波数 300 c/s と 3,000 c/s、測定電圧 156 V と 237 V、周波数 300 c/s と 3,000 c/s と各条件をそれぞれ組み合わせた場合、初期の輝きに対する 20 h、100 h における輝きの割合を求め、各要素中の二つの異なった値について劣化速度の有意差検定を行った。その詳細については省略し結果だけを要約すると、

- (1) 測定周波数では全然有意差が認められない。
- (2) 測定電圧では約 1% の危険率で有意差が認められた。
- (3) 動程電圧では有意差ありと断定できる。
- (4) 動程周波数では有意差ありと断定できる。

すなわち、測定周波数によっては劣化率が変化しないで動程の条件だけが測定周波数を変えた二つの実験結果に影響をおよぼしている。しかし測定電圧を変えた場合にはかなりの確実さ (危険率 1%) で有意差が認められる。これは経時変化に伴って “ $b$ ” 値が変化することが原因である。

動程電圧が変化すれば EL けい光体に印加する電界も変化し、劣化速度も当然変化すると考えられる。また動程周波数が変化すれば、EL けい光体の励起回数も変化し劣化速度に影響すると考えられる。

(4・8) 劣化に関する総括的考察 劣化の問題に関しては参考文献が少ないため、筆者は Thornton 氏<sup>(4)</sup>の論文しか見たことがない。

劣化の機構に関して完全に解明することは困難であるが、実験の示すところにしたがって行った個々の考察を総合した結果を以下記述する。

経時変化の模様やこれに伴う諸特性の変化から、一般的に初期劣化の速度はかなりすみやかであり、これと“*b*”値のすみやかな増大とが平行を保っていることから、初期の劣化は発光の電圧依存性の問題と密接な関連を有することが明らかとなった。

次に、長時間発光させた場合に劣化は持続するが、その劣化率は小となり、“*b*”の値の変化もわずかとなる。しかし劣化の傾向からすると“*b*”値はほとんど変化せず、劣化は持続するということがわかった。このような長期の劣化は初期の急速な劣化と機構を異にしていると推定できる。

初期の劣化については前に触れたように励起領域部分において、発光中局部的に電子密度の高い電流が流れ後天的に格子欠陥が生じて、それにより電子の散乱やトラップ現象が生じ、電子移動度を低下させた結果 Prebreakdown 電圧が増大するのがもっとも主要な原因と考えられる。(このほかの効果も重ね合わさることはいうまでもない。たとえば黒化現象) 長期の劣化は発光中心が比較的ゆっくり破壊されるためと考えられる。発光中心に関しては現在でも必ずしも明白ではないが、単に不純物だけに発光の原因を帰すわけにはいかず、不純物を取り囲むイオンや原子、分子によって発光特性が形成されると考えるのが妥当である。しかし導入された Activator が発光の主役を演じていることは事実で、これがなんらかの変化をうけると考えられる。

Cu が多くの EL けい光体の Activator として使用されているが、ZnS 中の Cu の形態は種々説のあるところで、銅原子、 $\text{Cu}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  などの形が考えられる。

上記の形で ZnS 中に導入された銅が、結晶表面にコロイドとして析出する可能性が多い。コロイド状に析出した Cu は発光中心としての能力を失うことはいうまでもない。また析出しないまでも、励起部分の Activator の濃度が高くなると、いわゆる、濃度消光を起して輝きが減少する。

上記のような現象が長期劣化現象の一因になっていると考えられる。

## 5. 結 言

EL けい光体層の経時変化に関する測定ならびに結果に対する考察を以上記述した。得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) EL の輝きの経時変化を極初期(20 min 以内)および 100 h 以上の二つの範囲に分けて測定を行い、最初 20 h ぐらいの間に急速に輝きは劣化し、それ以後劣化速度は減少する。

(2) 経時変化に伴って  $\log B-1/\sqrt{V}$  の傾斜は急しゅんとなる。

(3) フォトルミネセンスは EL 劣化に対して変化が少ない。

(4) 光電流と暗流はともに EL 劣化に伴ない減少する。

(5) 誘電特性に関し、 $\epsilon$ 、 $\tan \delta$ 、 $\sigma$  の値は EL 劣化に伴なって減少する。

(6) 光学顕微鏡による EL 発光劣化の観測結果、発光スポットはいずれも輝きが減少する。

(7) 劣化に伴う発光スペクトルの変化はわずかである。

(8) 劣化に伴ない発光波形の Secondary peak は増す。

(9) 以上の実験事実から、最初の急速な劣化には主として Prebreakdown avalanche 開始電圧が上昇することが起因し、長期の緩慢な劣化現象の一因としては発光中心の破壊現象も加わるものと推定される。

筆をおくにあたり、本研究遂行途上、ご指導ご鞭撻をうけた NHK 技研山下彰博士をはじめ関係者の方々、日立ランプ株式会社日野西義輝博士、日立製作所武蔵工場中村純之助博士、同じく中央研究所菅原理夫博士、及川充博士に対して深く謝意を表すとともに、けい光体を提供して下さった大日本塗料島生氏、二光社百武氏に厚くお礼申し上げる。また終始ご討議いただいた早稲田大学理工学部木俣守彦助教授に厚くお礼申し上げる。(昭和 35 年 11 月 10 日受付、同 36 年 6 月 22 日再受付)

## 文 献

- (1) P. Zalm: Philips Res. Rep. **11**, 353 (1956); **11**, 417 (1956)
- (2) H. Frölich: Proc. Roy. Soc. (A) **160**, 230 (1957)
- (3) K.H. Butlen & J.F. Waymouth: Brit. J. appl. Phys. Suppl. **4**, 33 (1955)
- (4) W.A. Thornton: J. appl. Phys. **28**, 313 (1957)
- (5) 塩谷繁雄: 学位論文 (昭和 32-9)



UDC 535.376.07.01

## 電 気 ル ミ ネ セ ン ス 層 の 電 気 的 特 性 \*

資料・論文

36-127

正 員 中 村 孔 治 †

## 1. 緒 言

筆者は以前電気ルミネセンスに関する光学的な研究を行い、EL 層のけい光体濃度を変えた場合の EL の輝きについて、さらに反射層その他、EL 発光板設計上重要な資料を得たので報告した。<sup>(1)</sup>

しかし、光学的研究にだけ問題を限定したので当然次に EL 層の電気的諸特性に関して研究を行う必要が生じた。

本論文は前記の光学的研究に引き続き電気的諸特性に関し研究を遂行した結果で、EL 層の  $\tan\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$  の周波数依存性、温度依存性および電圧依存性などを明らかにし得た結果を記述した。

## 2. 実験装置および実験方法

(2.1) 実験装置 本研究において材料の  $\epsilon$ ,  $\tan\delta$ ,  $\sigma$  の測定に用いた装置は主として安藤電気製 TR-1 B 形広帯域誘電体損測定器であるが、必要に応じてその他の測定器も使用した。以下各装置について説明する。

(a) TR-1 B 形広帯域誘電体損測定器 安藤電気製作の、広い周波数範囲にわたって誘電特性測定可能な装置である。この装置は温度可変の試料容器を備

え、またこれを真空にする排気装置も有している。

(b) Zalm 形誘電体損測定装置 これは筆者が Zalm 氏と通信を行って第 1 図に示すような回路を送付してもらい、これに基づいて製作したものである。

本装置は (2.1) 節 (a) において記述した装置にくらべて精度の点、測定用周波数範囲の点で劣るが、高圧における測定が可能である。したがって発光中の EL 板などの高圧における  $\epsilon$ ,  $\tan\delta$  の測定にはこの装置を使用した。

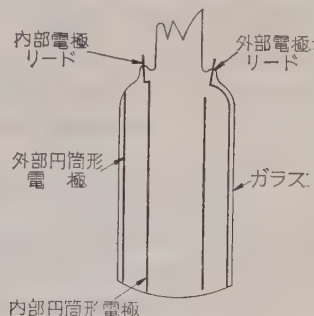
## (2.2) 実験方法および実験に供試した材料

(a) EL けい光体,  $\text{TiO}_2$  および  $\text{BaTiO}_3$  粉末の試料 供試した粉末は EL けい光体層を製作するうえに利用される無機材料で、通常これらの粉末は誘電体中に埋入分散して使用するのであるが、粉末自体の誘電特性について測定を行った。

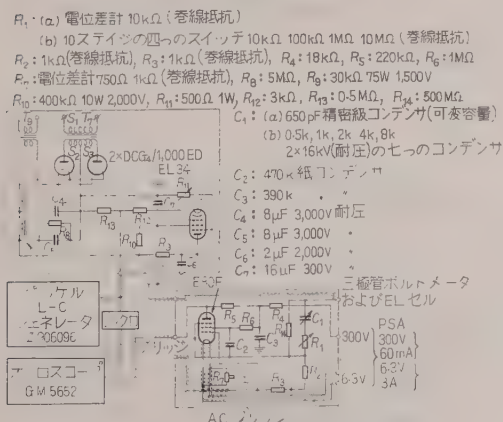
$\text{TiO}_2$  粉末は反射率が大きく、またこれを合成樹脂中に埋入分散して作製した層は透電破壊電圧大であるので、EL けい光体層と第 2 電極との間にこの層を設けることにより EL 板としての性能が向上する。また  $\text{BaTiO}_3$  粉末は  $\epsilon$  が大きく、EL けい光体に印加する電界を大にする効果と破壊電圧を高める作用があるので、EL けい光体粉末と混合したり、 $\text{BaTiO}_3$  粉末よりなる薄層を EL けい光層と重ね合わせて、層の輝きを増大する目的で使用される。

ZnS EL けい光体は B 社製 (緑 No. 2) である。これに関してはすでに報告<sup>(2)</sup>したので省略する。

$\text{TiO}_2$  粉末は X 線回折試験の結果、結晶形はルチル形であることが明確となった。また電子顕微鏡によって観測すると個々の粒子は  $0.1 \sim 0.3 \mu$  にその粒径が分布していることがわかった。比重は 4.2, 屈折率



第 2 図 粉体の  $\tan\delta$ ,  $\epsilon$  測定試料そう



第 1 図 Zalm 形誘電体損測定器回路

\* Electrical Characteristic of Electroluminescence Layers. By K. NAKAMURA, Member (Hitachi Ltd.).

† 日立製作所電子管事業部技術部半導体技術課

範囲に分布していることがわかった。

これら粉末の  $\epsilon$ ,  $\tan\delta$  の測定には第2図に示した試料そうを用いる。これに規定体積比になるように粉末をつめ込んで誘電特性を測定する。

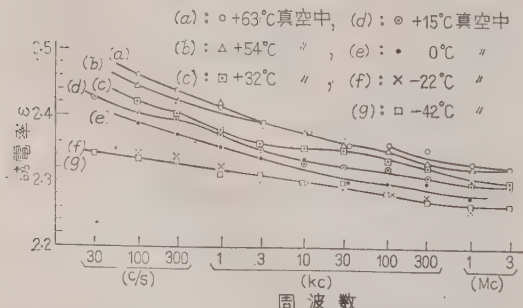
(b) ポリエステル, エポキシ, (アラルダイトを含む) ユリヤホムアルデヒド樹脂 ここで測定の対象としたものはいずれも EL けい光体層の誘電体物質として使用されるものである。導電ガラスの導電層上に重合固化させて約  $100\mu$  の厚さの層を形成させ、試料を作製した。

(c) EL 発光層 EL 発光層は上記の EL けい光体  $\text{TiO}_2$  および合成樹脂を用いて製作した。層の厚みはいずれも約  $100\mu$  で、第2電極は銀ペーストを用い、その面積はほぼ  $0.25\sim 0.5\text{cm}^2$  である。

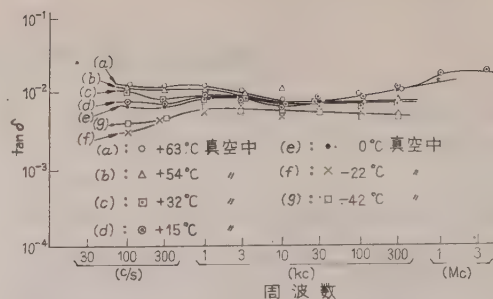
(d) 実験方法 真空中での温度変化による  $\tan\delta$ ,  $\epsilon$  の変化を調べるには試料を容器に格納してこれを真空ポンプにつなぎ、これを排気し、(真空度は  $10^{-3}\text{mmHg}$ , 1h 以上排気して誘電特性の変化が観測されない状態を確かめてから測定を開始した) ドライアイスを粉砕して、それを容器の外側の部分に入れてまず温度を下げる。その後、この容器中に格納してあるヒータに適当な電流を流して温度をゆるやかに上昇させながら測定を行う。この場合温度測定には容器中にそ

### 3. 測定結果

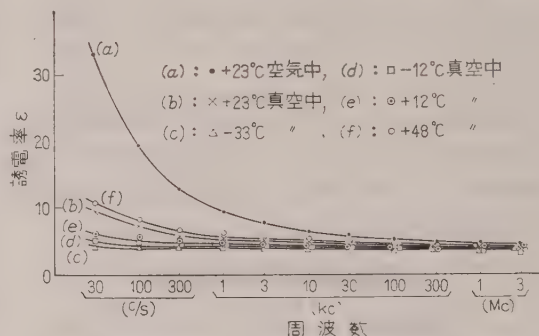
(3.1) ZnS けい光体,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$  粉末について 第3図に ZnS EL けい光体粉末 (体積比 46.7%) の  $\epsilon$  について、第4図に  $\tan\delta$  のそれぞれ周波数依存性を示す。 $\tan\delta$  について 1kc のところで各曲線ともゆるいピークが認められるが、これはイオン結晶の緩和効果であると考えられる。<sup>(3)</sup> 第5図、第6図に  $\text{BaTiO}_3$  粉末 (体積比 29.6%) の  $\epsilon$  および  $\tan\delta$  の周波数依存性を示す。 $\epsilon$  は低周波で、周波数増大に伴って減少して一定値となる。温度大になるにしたが



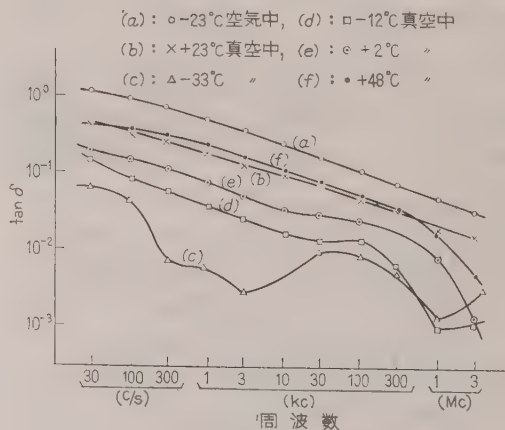
第3図 ZnS EL けい光体粉末誘電率の周波数依存性



第4図 ZnS EL けい光体粉末誘電体損の周波数依存性



第5図  $\text{BaTiO}_3$  粉末誘電率の周波数依存性



第6図  $\text{BaTiO}_3$  粉末誘電体損の周波数依存性

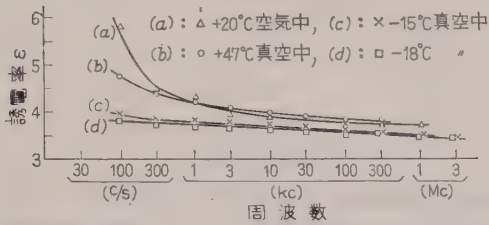
って  $\epsilon$  も大となる。同様に  $\tan\delta$  は周波数が低いところで大きく、周波数を増すにしたがって小となる。また大気中では真空中にくらべて  $\epsilon$ ,  $\tan\delta$  ともに同一条件で大となる。

以上の傾向は  $\text{TiO}_2$  においても観測されたが省略する。(各粉末の測定は  $10^{-3}\text{mmHg}$  の真空中に 5h 以上保っておいたのち行った)

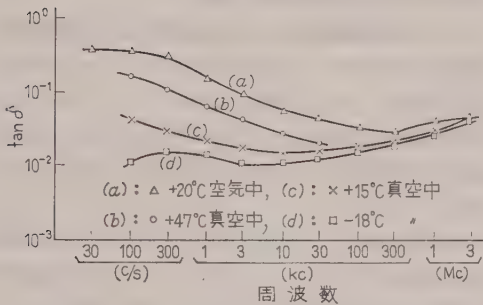


(3.2) 合成樹脂について ここでは紙面のつごうでポリエステル樹脂についてだけ記述する。

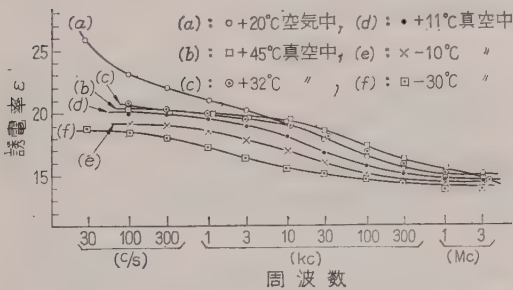
第7図, 第8図に  $\epsilon$ ,  $\tan \delta$  の周波数依存性を示す。温度, 大気の影響は粉末におけると同様の傾向をもっている。



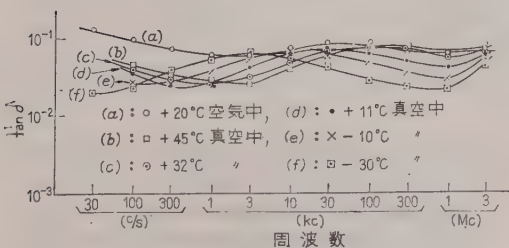
第7図 ポリエステル層誘電率の周波数依存性



第8図 ポリエステル層誘電体損の周波数依存性



第9図 EL けい光体層,  $\text{TiO}_2$  層の複合層誘電率の周波数依存性



第10図 EL けい光体層,  $\text{TiO}_2$  層の複合層誘電体損の周波数依存性

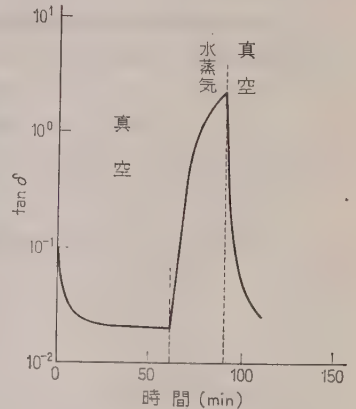
(3.3) EL けい光体層について (実用に供すべき)

第9図, 第10図にアルダイト樹脂を用いて製作した EL けい光体層と同じくアルダイト樹脂を用いた  $\text{TiO}_2$  層とを重ね合わせた複合層について  $\epsilon$ ,  $\tan \delta$  の周波数依存性を示す。(厚さ約  $60 \mu$ , 面積は  $0.25 \text{ cm}^2$ )  $\epsilon$  は周波数増大に伴ない減少し, 温度上昇に伴なって増加する傾向をもつ。 $\tan \delta$  は測定温度の異なった各曲線で最大の現われる周波数が異なっている。そして温度上昇に伴なって高い周波数領域に移行する。

#### 4. 実験結果の検討

(4.1) 水分の影響 EL けい光体,  $\text{TiO}_2$  および  $\text{BaTiO}_3$  粉末において, それら粉末材料を入手したままの状態, なんら処理をほどこさない場合, 空気中でその  $\epsilon$ ,  $\tan \delta$  の値を求め, 次に真空中でそれらを測定すると前者は後者にくらべて  $\epsilon$ ,  $\tan \delta$  とともに大となっている。

筆者は真空ポンプと水そうを用い, 粉の吸湿度合を変化させて, 各粉末の誘電特性の変化を検討した。第11図に  $\text{ZnS}$  けい光体の湿度による  $\tan \delta$  の変化を示す。(100 c/s 定温)

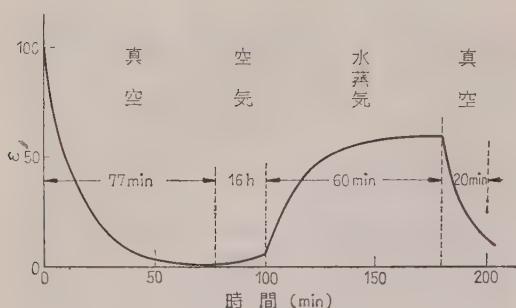


第11図  $\text{ZnS}$  粉末の  $\tan \delta$  のふんい気による変化(100 c/s)

未処理の  $\text{ZnS}$  けい光体粉末を真空ポンプで引くと, 最初の10 min ぐらいで  $\tan \delta$  は減少して一定値に落ち着く。次に水そうの水蒸気を粉末内に導入すると約30 min で  $\tan \delta$  はきわめて大きくなる。これをさらに真空ポンプで引くと十数分で最初の平衡値に近づく。 $\text{TiO}_2$  の  $\epsilon$  については第12図に示すようになる。 $\text{TiO}_2$  の ( $\tan \delta$  についても同様) 場合, 時間に対する変化の割合が小である。

$\text{ZnS}$  と  $\text{TiO}_2$  の相違は  $\text{TiO}_2$  粉末が  $\text{ZnS}$  粉末にくらべて粒径がほぼ2けたも小さいうえ, 粒子の表面に凹凸があり, 水分子の吸着断面が大であることに起因するものと思われる。

以上で EL 層に用いる粉末はいずれも長時間大気中に放置しておくとも大気中の水分を吸着して, 誘電特性の変化が起ることがわかった。これより EL 層を形成する粉末材料の貯蔵条件として, 使用前に真空処理を



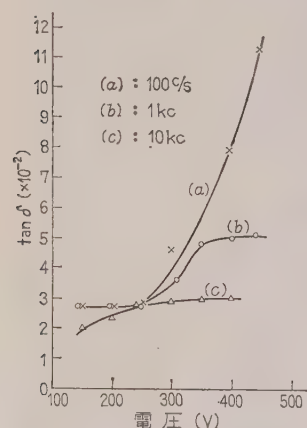
第 12 図  $\text{TiO}_2$  粉末の誘電率のふんい気による変化 (100 c/s)

行い必要があることが明白となった。

また EL 層形成後の大気中における測定値と真空中の測定値との間にも粉末と同様の関係が認められ、EL 層に防湿処理をほどこす必要のあることが明らかとなった。

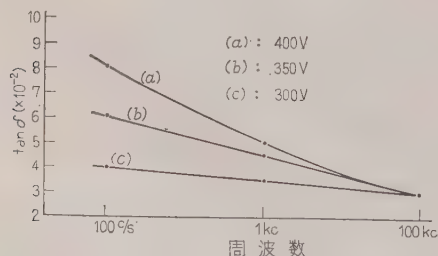
#### (4.2) EL 層の $\tan \delta$ の電圧依存性について

以上周波数と温度依存性について論じたが、EL 層の

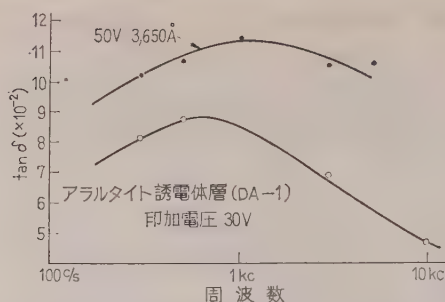


第 13 図 EL 層の印加電圧と誘電体損との関係

この検討の結果を第 13 図に例示する。図で周波数大なる場合の  $\tan \delta$  は電圧小なる領域で飽和する。これ



第 14 図 EL 層の誘電体損と印加電圧周波数との関係 (印加電圧パラメータ)



第 15 図 3,650 Å 照射による EL 層の  $\tan \delta$  の変化

に対して周波数の低い場合は電圧の増加に対して立ち上がっている。(試料は 250 V で充分 EL 発光が認められる) 次に電圧をパラメータとして周波数に対してプロットすると第 14 図のようになる。

(4.3) EL 誘電体層の外部光照射による誘電特性の変化について EL けい光体をアラタイト樹脂中に分散埋入させ、(体積比 30%) 100  $\mu$  の厚さに試料を作製し、これに 3,650 Å の紫外線を照射させた場合、EL 誘電体層の誘電特性を測定した結果を第 15 図に示した。

図で明らかなように周波数の全域にわたって  $\tan \delta$  が紫外線的作用で大となっている。これは紫外線によって層中の ZnS が励起されて誘電特性が変化したものと思われる。(4)特に  $\tan \delta$  の増加が第 15 図のよう到大であるのは、ZnS 中の活性中心が紫外線で電離されて自由電子が生じたためであると考えられる。

## 5. 結 言

以上、電気ルミネセンスけい光体層を形成する諸材料ならびにそれらを用いて製作した EL 層についての誘電特性の測定結果を記述した。この結果、電気ルミネセンス層の電気的な諸設計の基礎資料を得ることができた。

筆をおくにあたり、ご指導を得た NHK 技研山下彰博士以下関係者の方々、日立中研菅原理夫博士、及川充博士以下関係者の方々に深く謝意を表すとともに終始ご討議いただいた早稲田大学理工学部木俣守彦助教授に厚くお礼申し上げる。(昭和 36 年 2 月 11 日受付、同 6 月 22 日再受付)

## 文 献

- (1) 中村(純)・中村(孔)・野々垣: 照学誌 **43**, 23 (昭 34)
- (2) 中村: 電学誌 **81**, 1641 (昭 36) (本号)
- (3) R. G. Breckenridge: J. Chem. Phys. **16**, 959 (1948); **18**, 913 (1950); "Imperfection in Nearly Perfect Crystals" (1952); S. Glasstone, K. J. Laidlere & H. Eyring: The Theory of Rate Processes (1941)
- (4) J. J. Hopfield: Phys. Rev. **112**, 1555 (1958)



UDC 621.311.1 : 627.814.09

# 貯水池計画を中心とした電力系統の シミュレーションについて\*

(I. 開発計画の決定への応用)

正員 三 木 昭 二†

資料・論文

36-128

## 1. ま え が き

現在電気事業は年間3,000億円以上の設備投資をして、増大する需用に対応し安定した電力が供給できる電力系統を建設している。この設備計画は直接電気料金につながるとともに国民生活に影響することが多く、その経済性の追究はきわめて重要な問題である。

電気事業は他の企業と異なり生産と販売とを同時に行わなければならないとともにその形成している電力系統は互に有機的に連系しており、設備を単独に、たとえばある水力発電所だけ、またはある変電所だけといったような経済性を追究することは困難で、一つの設備の工事を行えばそれは大なり小なり電力系統全体に微妙に影響する。

ところでわが国では現在まで電力系統全体に微妙に影響する効果を計算することは不可能であるとして、多くの場合ある仮定のもとにたった等価の問題として取り扱ってきた。たとえば火力発電所の建設の効果を計算するにあたっては、将来の特定の年度について火力以外の系統は固定的に考え、新設火力発電所と他の既設火力発電所との置き換えなどを計算して推測してきた。またわが国の現在の開発計画や需給計画などに用いられている火力の均一性、可分割性の仮定、水力の類形化、送電系統の単純化、期間の断面化、水火力の事故の取扱い方など、すべて等価的に実際の系統の状況を表わしていると考えて計算している。しかし、われわれの対象とする電力系統は刻々と成長を続けており、動いている。ある断面のある時期に等価で表わされたものが将来の電力系統についても等価であるかどうかということに対する解答はだされてなく、ただ実績値と比較すれば等価であったというにすぎないのが多い。

設備計画では将来の電力系統の予測を行うことが第

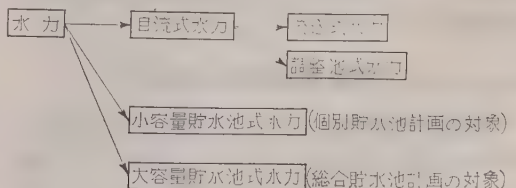
一步であり、それを基礎としてあらゆる問題を検討しなければならない。将来の電力系統は現在より大きく複雑に、さらに水火力の構成も変化することが予想されている。

筆者はこのような将来の電力系統の特性の予測の問題に対して、最近の発達した計数形計算機を用いた電力系統のシミュレーションによる解析がもっとも有効であると考え、この問題を研究し、電力系統経費の大部分を占める発電部門の貯水池計画を中心とした電力系統のシミュレーションに成功し、その成果のうち適正な貯水池計画の決定については先に発表した<sup>(1)(2)</sup>。ここではさらに、貯水池計画を中心とした将来の電力系統のシミュレーションによる系統の諸特性の検討が具体的にどのようにできるかを示す。

## 2. 総合貯水池計画による電力系統の シミュレーション

筆者の総合貯水池計画による電力系統のシミュレーションの概要は次のとおりである。

まず水力は第1図のように系統の需用のことは直接考慮しなくて、自己の水力としてもっともその価値が大になるような運用をする自流式および小容量貯水池式水力群(この二つを合計して一次水力供給力という)と、系統の“しわよせ”<sup>(2)</sup>を分担する大貯水池式水力群とに分け、各大貯水池式水力が予想される需用に対応して需給のバランスを保持しながら火力の燃料費と系統の設備費との和が最小になるような運用を行う。以上は実際の給電指令による運用と基本的に一致しており、実際の運用した状況と比較してもその妥当なことが示されている。<sup>(2)</sup>



第1図 水力供給力の区分

\* The Simulation of Power System Based on the Economical Operation of Hydro Storage (I. Application for Determination to Add Optimum Generating Capacity for System). By S. MIKI, Member (Shikoku Electric Power Co.).

† 四国電力株式会社企画部企画課、電源開発計画担当

このように日々刻々の各水力および火力の発電状況を明確にしながる需給のバランスを保持する電力システムの運用は、その所与とする設備と需用とを変化させることにより、多くの場合の将来の電力系統の特性を画きだすことができる。たとえば筆者の研究した系統の昭和 38 年度のある流量年度の場合の自流式水力、貯水池式水力および火力の発電状況は、シミュレーションの計算結果によると第 2 図のようになる。また貯水池式水力は電力系統の“しわよせ”

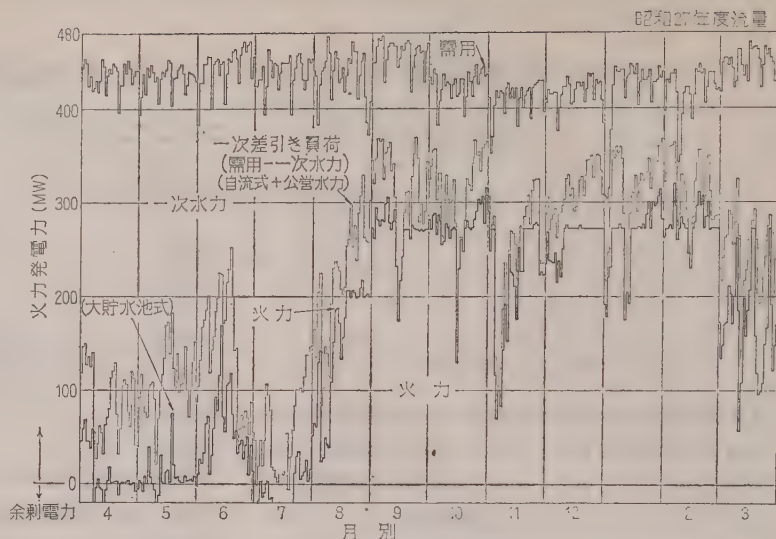
を分担して運用されているが、貯水池計画を中心とした系統のシミュレーションではどのような結果になっているか、昭和 37 年度の予想系統について自流式水力との関係で示すと第 3 図のようになる。第 3 図は将来系統の 12 月において自流式水力の発電力持続曲線と同日に貯水池式水力がどのような

発電をしているかを 14 個年間の流量について表わしたものであり、ひんぱんな週間調整や月間調整を行っていることが図より推測される。

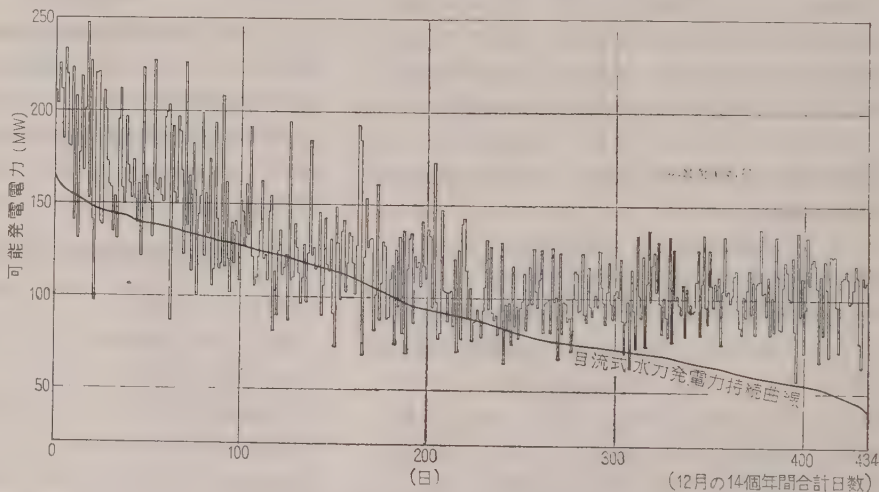
前述のような詳細な電力システムのシミュレーションができれば、将来の電力系統の諸特性を種々予測することができ、それに対応して経済的な対策を講じることが可能となる。

### 3. 電源開発計画への応用

経済的な電源開発計画とは長期間の電力系統経費が最小になるような計画のことをいう。たとえば、将来の 20 年間またはそれ以上の長期間まで考慮した電力系統の経費が、最小になるような開発計画でなければ



第 2 図 IBM 650 による昭和 38 年度昼間水力発電状況



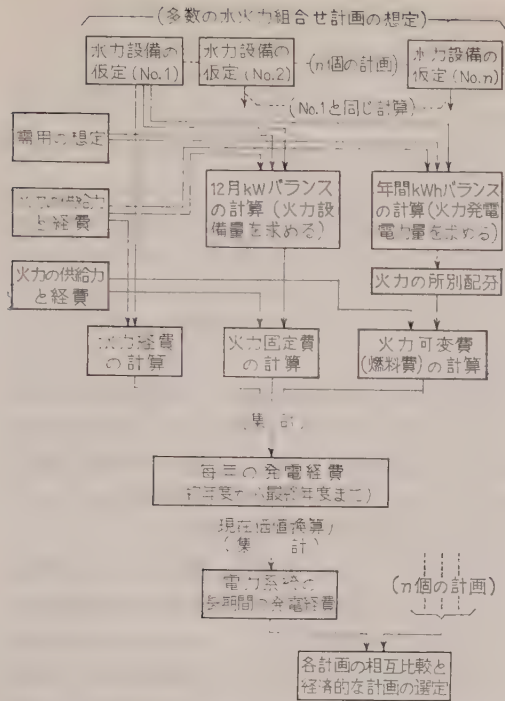
第 3 図 昭和 37 年度における貯水池式水力合計の自流式水力発電力持続曲線に合わせた可能発電電力 (12 月 14 年間横軸持続曲線)

ならない。

筆者の総合貯水池計画による電力システムのシミュレーションを所与の需用に対し需給のバランスを保持しながら多くの設備計画について行い、その電力系統の長期間の経費計算をすれば、経費最小の設備の水火力の組み合わせをもって経済的な開発計画とすることができる。このような計算には大形計算機の活用を一般に必要とするので、大形計算機を充分使用できないわが国の現在の段階では、第 4 図のような手順で経済的な開発計画を求めることができる。<sup>(3)</sup>

この場合、第 4 図のように 12 月 kW バランス (日負荷曲線) と年間 kWh バランスとをもって年間のすべての需給のバランスを代表させるため種々な考慮を



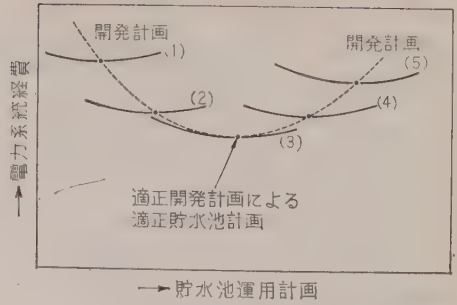


第 4 図 経済的な電源開発計画決定の計算手順

必要とする。たとえば火力の補修計画を 12 月 kWh バランスにどのように反映させるか、事故率や水力供給力を 12 月 kWh および年間 kWh バランスにどのように反映させればよいか、需用は日々変動するがそれを 2 点の表現でできるものかなど種々の考慮をしなければならぬ。

これらの検討は少なくとも将来の基準的な開発計画に基づくシステムの年間の日々の詳細な需給バランスと年間 kWh, 12 月 kWh バランスとの関係や近似的な表現方法の研究を必要とする。この近似的な表現方法の研究には、電力系統の詳細なシミュレーションの結果を利用することでできる。

わが国で、現在では一般に第 4 図の計算条件の裏付けとなる資料を作成し、そのもとにおいて図のような計算手順を経て近似的に適正な電源開発計画を求めることができるが、この場合既設貯水池式水力の適正な運用計画をある程度の将来についても固定化し、将来の特定年度の既設水力の総合貯水池計画を他の年度にもとって、残りの差引負荷(需用から既設水力を差し引いたもの)を新設の水力および既設火力で供給するように考える。これが近似的といえるのは第 5 図のように貯水池の運用方法によっての電力系統経費の変化の幅と開発計画の相違による電力系統経費の変化の幅とを比較すると、貯水池運用による経費変動の幅の



第 5 図 所与の想定需用における総合貯水池計画と適正な開発計画の関係

ほうが小さいと思われるからである。たとえばある系統の開発計画の相違と貯水池運用の変化による経費変動の例を示すと第 1 表のようになる。しかし貯水池計画により電力系統経費が大幅に変わる系統では当然前述の方法が近似的であるとはいえない。

第 1 表 開発計画の相違による系統経費の変動幅と貯水池運用の変化による系統経費の変動幅との一例

開発計画の相違	開発計画ケース			
	1	2	3	4
具体的開発計画(増加ピーク需用に対する新設水力ピーク供給力の割合(%))	0	10	20	30
年間電力系統経費(百万円)	0	-258	-373	-340
貯水池運用の変化	貯水池運用ケース		2	
	1		2	
	調整率の大きい貯水池から系統のしわよせを分担するよう貯水池使用計画曲線を決めて運用した場合		各貯水池とも同じように系統のしわよせを分担するよう貯水池使用計画曲線を決めて運用した場合	
年間電力系統経費(百万円)	0		18	

注: ケース 1 を基準とし (一) はケース 1 より年間系統経費が少ないことを示している。

開発計画の相違の場合は貯水池運用は変化させず、系統経費を算出してあり、貯水池運用の変化の場合は一つのケースの開発計画での系統経費である。

#### 4. 揚水発電計画への応用

(4.1) 揚水発電計画の一般理論 水力資源の枯渇とともに増大するピーク需用を充足するため揚水発電が研究され、わが国では最近相次いで揚水設備のある発電所が建設されている。

揚水発電計画ではそれが投入される電力系統の特性の十分な研究が前提で、そのうえにたつて揚水発電の必要性、揚水電力量の経費、揚水発電の効果などが算出され、また揚水発電所の運用指針をも得なければならない。すなわち揚水発電計画では揚水する電力をなんによって供給するか、たとえば水力余剰電力を利用

して揚水できるか、火力余剰か、火力のたき増しによって揚水できるかなどは揚水発電計画の経済性の重要な決定要素である。また揚水された水をどのように運用すればもっとも効果をあげる(系統経費を節減する)ことができるか、具体的にどの程度火力設備を節減でき、燃料費の節減がどの程度であるかの検討も必要である。これらは従来にくらべ詳細な将来の電力システムの予想が前提となるが、筆者の総合貯水池計画に基づく将来のシステムのシミュレーションを適用すればこれらを充分満足させることができる。

ところで揚水発電計画のうち、いわゆる純揚水発電計画(揚水した水と発電使用水量がほぼ等しく上流の貯水池に流入がほとんどない揚水発電計画)は比較的簡単に揚水発電計画の検討ができるが、上流の貯水池に相当な流入量があり、揚水発電計画がそれに付加されるような、いわゆる併用式揚水発電計画(純揚水発電計画の場合より自流分の設備があるため、揚水付加設備のkWあたり建設費が低いことが多い)は、電力システムのシミュレーションの計算によらなければ、その複雑な様相を明らかにすることは困難である。

揚水による効果は揚水設備のある場合とない場合との長期間の系統経費の差によって示すことができる。具体的には、揚水設備のある場合とない場合との火力燃料費の差と節減火力設備費の差との和によって、近似的に揚水の効果を表わすことができる。

揚水設備のない場合の火力の年間発電電力量  $W$  は

$$W = \sum_{i=1}^{365} 24 P_i \dots\dots\dots (1)$$

揚水設備のある場合の火力の年間発電電力量  $W'$  は

$$W' = \sum_{i=1}^{365} 24 P_i' \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $P_i$ :  $i$  日の揚水発電設備のない場合の火力の平均発電電力、 $P_i'$ :  $i$  日の揚水発電設備のある場合の火力の平均発電電力、 $i=1: 4$  月 1 日、 $i=365$ : 翌年の 3 月 31 日

で示される。

また、揚水設備のない場合の渇水日のピーク時火力発電電力:  $P_a$ 、揚水設備のある場合の渇水日のピーク時火力発電電力:  $P_a'$  とすると、揚水の効果  $B_u$  は

$$B_u = (W - W')\gamma + (P_a - P_a')\delta \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $\gamma$ : 平均燃料単価、 $\delta$ : 節減火力 kW あたり年経費  
で表わされる。

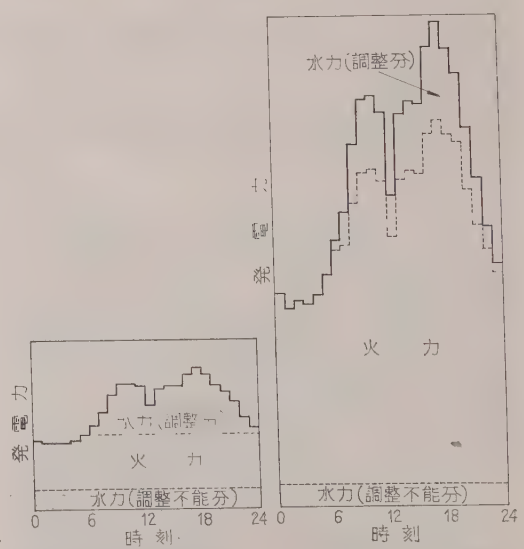
純揚水発電所では一般に (3) 式右辺の第 1 項は (一) となり、第 2 項が (+) になる。すなわち純揚水発電所では揚水運転をできるだけ行わない、したがって年

間利用率の少ないほうが揚水の効果  $B_u$  は大となる。

併用式揚水発電所は一般に (3) 式右辺の第 1 項、第 2 項ともに (+) の効果が期待できる場合が多い。特に系統の余剰電力をも吸収し系統の“しわよせ”の役割を果す併用式揚水発電所では、(3) 式の右辺の第 1 項、第 2 項ともに効果が期待できることが予想される。水力の比率の大きい系統では (3) 式右辺第 1 項の効果が多く、水力比率の小さい系統では (3) 式右辺第 2 項のウエイトが大きい。将来の水火力の組合せを考えると、次第に第 2 項のほうへ揚水の目的が移ってゆくものと考えられる。

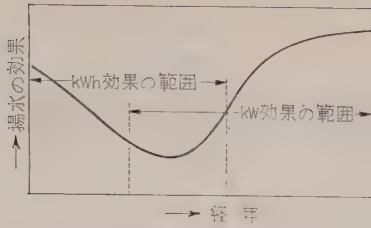
(4.2) 揚水効果の経年変化 揚水の効果は (3) 式で表わされた。それに対し現在水力の比率の大きい系統に併用式揚水発電所を建設したとき、揚水の効果は経年とともにどのように変化するかを考察すると次のとおりである。

水力の比率の大きい系統では第 6 図のように渇水日の需用のピーク部分は水力の調整力で充分供給でき、火力はフラット運転をすることとなる。このような系統では (3) 式の  $(P_a - P_a')\delta$  の効果はなく、次第に需用が増大してきて水力の火力に対する比率の減少とともに(現在わが国では需用の増大とともに火力比率を増すような開発が適正な開発計画であると考えられている<sup>(3)</sup>) 第 7 図のように水力だけでは需用のピーク部分を供給することはむずかしく、火力でもピーク需用を分担する必要が生じてくる。このような系統になると深夜の火力の余力で揚水し、ピーク時に発電して



第 6 図 渇水口の負荷曲線 (火力がフラット運転できる場合) 第 7 図 渇水口の負荷曲線 (火力がピーク運転をしなければならない場合)





第 8 図 併用式揚水発電所の揚水の  
効果の経年変化

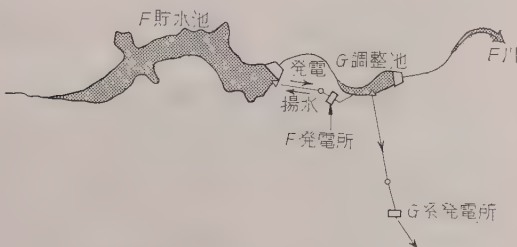
火力設備の節減を図ることが可能となり、(3) 式の  $(P_a - P_d')\delta$  の効果が期待されてくる。したがって、現在水力の比率が大きく将来次第に小さくなってゆくような系統における併用式揚水発電所では、建設当初は (3) 式の  $(W - W')\gamma$  の kWh 効果を、経年とともに (3) 式の  $(P_a - P_d')\delta$  の kW 効果が期待できる。この関連を第 8 図に示す。すなわち第 8 図のように、揚水の効果は水力比率の大きい建設当初は kWh 効果がほとんどであるが、経年とともに火力の系統に対する比率が増すと kWh 効果は減少してゆき、次第に火力が渇水日にピーク需用を分担するようになると kW 効果が期待でき、設備の限界で揚水の効果は頭打ちとなる。

また、上流貯水池と下流貯水池とを揚水設備で結ぶと、上下の貯水池を総合して溢流量が最小となるような運用が可能となる場合がある。このような場合の揚水の効果は (3) 式の  $(W - W')\gamma$  の効果と  $(P_a - P_d')\delta$  の効果とが建設当初からある程度期待できる。

(4.3) 揚水の効果の具体的計算 前述のように電力系統の特性を利用しながらその効果を発揮することが期待される揚水発電計画では、将来の揚水発電計画をも含む電力系統の詳細なシミュレーションによりその経済性の追究が可能である。筆者はこの揚水発電計画に対し総合貯水池計画による電力系統のシミュレーション計算方法を適用した。

これらの計算は計数形計算機の使用が前提である。

具体的に検討した揚水発電計画の一例として第 9 図のような F 川発電計画における併用式揚水発電計画



第 9 図 F 川分水発電計画図

の検討例を示す。自流だけで発電計画をたて、さらに F 川発電計画の経済性を高めるため、F 発電所に揚水設備を付加することの経済性を電力系統のシミュレーションの揚水発電計画への応用として研究した。

F 発電所に揚水設備を付加することの経済性は、F 発電所に揚水設備を付加した場合と付加しない場合との将来の電力系統経費の変化量を算出することにより表わすことができる。筆者は将来の電力系統として、F 発電所が完成を予想されている年度以降の各年度の電力系統を想定した。

F 発電所の日々の揚水発電計画効果計算のため、計数形計算機に用いたフローダイアグラムは第 10 図のようなものである。このフローダイアグラムにおける各貯水池の運用計画の基本的な考え方は、筆者の総合貯水池計画計算<sup>(2)</sup>の場合と同じものである。

計算に使用した揚水の条件は次のとおりである。

(i) 第 10 図の三次差引負荷（需用より F 水系を除いた全水力の供給力を差し引いたもの）が負になって余剰電力が発生している。

(ii) 揚水所要電力がこの発生している余剰電力より小さい。

(iii) 揚水しようとする日に F 貯水池は溢流してなく、揚水しても溢流しない。

(iv) 第 9 図の下流発電所が自己の残流域の流入量だけで溢流が生じ、F 貯水池に揚水しても溢流がないときは火力のたき増しで揚水する。

このように (i) ~ (iii) の条件を満足するときは水力余剰で揚水し、(iv) のときは火力のたき増しで揚水する。

いま  $i$  日の F 発電所に揚水設備のないときの系統の経費:  $C_i$ ,  $i$  日の F 発電所に揚水設備のあるときの系統経費（揚水付加設備費は含まず）:  $C_i'$  とすると、揚水設備を付加した効果  $B_u$  は

$$B_u = \sum C_i - \sum C_i' \dots\dots\dots (4)$$

で表わされる。

この検討例の  $B_u$  は 1 日の間での深夜揚水、ピーク発電（純揚水式と同じ）が系統の渇水日負荷曲線（差引負荷曲線）より、相当将来までほとんど考えられないので考慮してなく、したがって (3) 式の右辺の第 1 項 kWh の効果を主として算出している。なお (3) 式の右辺第 2 項の 1 日の間での深夜揚水、ピーク発電による効果は渇水日の負荷曲線（差引負荷曲線）より複雑な計算を行わなくても比較的簡単に求めることができる。

10 個年間の流量記録と運開初年度の予想系統とを組み合わせた場合の各流量年度の (4) 式の  $B_u$  を求め



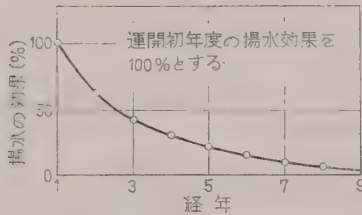


第 2 表 F 川揚水発電計画の流量年度による

## 節減燃料費

流量年度 (昭和年度)	10個年平均値に対する 節減燃料費の比率(%)	流量年度 (昭和年度)	10個年平均値に対する 節減燃料費の比率(%)
21	233	26	146
22	33	27	49
23	79	28	95
24	104	29	14
25	129	30	118

注: 10 個年平均値を 100% とする。



第 11 図 F 系の水力余剰によって揚水したときの燃料費節減効果の経年変化 (IBM 650 による計算)

将来の電力系統における経済的な運用計画の研究がきわめて重要となる。

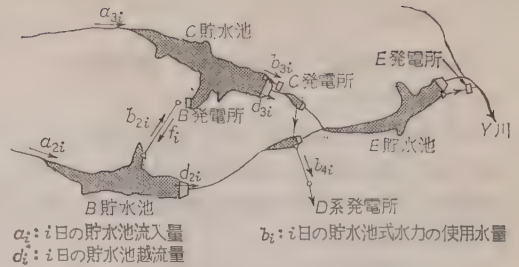
ところが自流を伴ないいわゆる併用式揚水発電所の経済的な運用計画は、純揚水式発電所の場合にくらべて複雑であり、その経済的な運用指針を求めてその供給能力をはあくすることがその地点の開発の前提となる。どのように運用すればこれだけの供給力の発揮が期待できることが明らかでなく、揚水発電所を建設すればその揚水発電所の機能を発揮することが困難だけでなく、経済的な開発計画となっていたかどうかとも疑わしくなる。したがって筆者は併用式揚水発電所の建設の前提となるその発電所が完成したとき、どのように運用すればどれだけの供給能力が発揮できるかの運用指針を検討した。

特に揚水する上流貯水池が週間調整以上の長期間の調整が可能な貯水池保有量を有しているときは、せっかく揚水しても将来の流入量が確実に予測できない現在では上流貯水池から溢流するおそれがある。

溢流のおそれの多い場合は、特に火力で揚水する運用計画には慎重な考慮が必要で、これはあたかも揚水効率が著しく低下した場合と同じような影響をおよぼす。

たとえば筆者の研究した系統の B 貯水池では、このような現象が計画当初から充分考えられていたことであったが、建設当初の年度に揚水した水の 20% あまりが結果的に溢流した。

何月に揚水する水は何パーセントぐらい溢流してしまうおそれがあるか、そして残りの何パーセントが有



第 12 図 B 揚水発電計画の説明記号

効に使用されて系統経費の節減に役立つかのこの有効期待値を求めておけば、揚水運転の指針を与えることができ、溢流のおそれのほとんどない月は上、下流貯水池や系統の状況により火力のたき増しによって揚水することを考えなければならない。

揚水した水の何パーセントが有効に使用されるかの期待値を、筆者は“揚水の有効度”と名づけ具体的に次のようにそれを算出し、併用式揚水発電所の運転の指針とすることができた。

いま B 揚水発電計画に関係する諸記号を第 12 図のように仮定する。

B, C, D 系以外の系統は揚水のあるなしにかかわらず一定とする。(実際は微妙に変化するわけであるが近似的にこのように考える)

いま  $j$  年流量の  $i$  日に  $f_{ji}$  が揚水されたとする。そのための揚水所要電力は  $f_{ji}\beta_{ji}$  ( $\beta_{ji}$  は  $j$  年流量の  $i$  日の揚水電水比) である。 $f_{ji}$  揚水したための B 発電所の使用水量の増加は

$$\sum_i b_{2ji}' - \sum_i b_{2ji} = f_{ji} - \sum_i d_{2ji}' + \sum_i d_{2ji} \dots (5)$$

となる。以下、揚水のある場合にダッシュを付す。

$f_{ji}$  揚水したための B 発電所の増加発電電力量は

$$\sum_i b_{2ji}' \alpha_{2ji}' - \sum_i b_{2ji} \alpha_{2ji}$$

ただし、 $\alpha_{2ji}$ : B 発電所の  $j$  流量年の  $i$  日の電水比

となる。

同様に  $f_{ji}$  揚水したための C 発電所の使用水量の増加

$$\sum_i b_{3ji}' - \sum_i b_{3ji}$$

$\alpha_{3ji}$ : C 発電所の  $j$  流量年の  $i$  日の電水比

同じく発電電力量の増加

$$\sum_i b_{3ji}' \alpha_{3ji}' - \sum_i b_{3ji} \alpha_{3ji}$$

D 発電所の使用水量の増加

$$\sum_i b_{4ji}' - \sum_i b_{4ji}$$

同じく発電電力量の増加

$$\sum_i b_{4ji}' \alpha_{4j}^{s'} - \sum_i b_{4ji} \alpha_{4ji}$$

$\alpha_{4ji}$ : D 発電所の  $j$  流量年の  $i$  日の電水比

となる。

いま、揚水量が自流より相当少ないときは

$\alpha_{2ji} \approx \alpha_{2ji}'$ ,  $\alpha_{3ji} \approx \alpha_{3ji}'$ ,  $\alpha_{4ji} \approx \alpha_{4ji}'$ ,  $\beta_{ji} \approx \beta_2$  なので,  
 $f_{ji}$  揚水したための効果は増加発電電力量  $B_{ji}$  として  
 次のように表わされる。

$$B_{ji} = (\sum_i b_{2ji}' - \sum_i b_{2ji}) \alpha_2 + (\sum_i b_{3ji}' - \sum_i b_{3ji}) \alpha_3 \\ + (\sum_i b_{4ji}' - \sum_i b_{4ji}) \alpha_4 - f_{ji} \beta_2$$

多くの流量年について  $i$  日に  $f_{ji}$  揚水する効果は期待値  $\bar{B}_{ji}$  として次のようになる。

$$\bar{B}_{ji} = \frac{(\sum_j \sum_i b_{2ji}' - \sum_j \sum_i b_{2ji}) \alpha_2 + (\sum_j \sum_i b_{3ji}' - \sum_j \sum_i b_{3ji}) \alpha_3 + (\sum_j \sum_i b_{4ji}' - \sum_j \sum_i b_{4ji}) \alpha_4 - \sum_j f_{ji} \beta_2}{\sum_j f_{ji}} \quad (6)$$

揚水した水の何パーセントが再び有効に使用発電できるかの割合を揚水の有効度 ( $i$  日の揚水の有効度  $U_i$  とする) と名づけたが, それは次のように表わされる。

$$U_i = \frac{\sum_j \sum_i b_{ji}' - \sum_j \sum_i b_{ji}}{\sum_j f_{ji}} \quad (7)$$

B, C, D の各発電所の  $i$  日の揚水の有効度をそれぞれ  $U_{2i}$ ,  $U_{3i}$ ,  $U_{4i}$  とすると (6) 式は次のようになる。

$$B_{ji} = \frac{\sum_j f_{ji}}{\sum_j f_{ji}} \{ (\alpha_2 U_{2i} - \beta_2) + \alpha_3 U_{3i} + \alpha_4 U_{4i} \} \quad (8)$$

$B_{ji} > 0$  ならば火力で揚水しても発電電力量の期待値は増加し, 系統の経費節減を図ることができる。(8) 式で  $\bar{B}_{ji} > 0$  となる条件は

$$\alpha_2 U_{2i} + \alpha_3 U_{3i} + \alpha_4 U_{4i} > \beta_2 \quad (9)$$

である。

具体的に  $\alpha_2 = 20$ ,  $\alpha_3 = 10$ ,  $\alpha_4 = 100$ ,  $\beta = 30$  (いずれも単位は  $MWh/m^3/s-d$ ) なので (9) 式は

$$2U_{2i} + U_{3i} + 10U_{4i} > 3 \quad (10)$$

となり, (10) 式を満足する  $i$  日に B 発電所は火力で揚水することも経済的となる。

また火力で揚水するとき火力のたき増し燃料単価は  $\gamma_n$ , 揚水発電所の発電によつての火力のたき減し燃料単価を  $\gamma_p$  とすると, (10) 式は

$$2U_{2i} + U_{3i} + 10U_{4i} > \frac{3\gamma_n}{\gamma_p} \quad (11)$$

となる。一般に  $\gamma_n < \gamma_p$  である。

B, C, D 発電所は建設年度などの相違により, 最大使用水量はほぼ等しいので

$$U_{2i} > U_{3i} > U_{4i}$$

である。

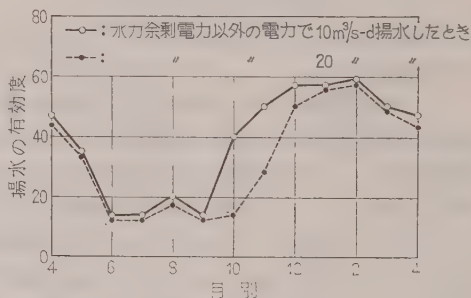
いま  $U_{3i} = 0.9U_{2i}$ ,  $U_{4i} = 0.8U_{2i}$  と想定すると (11)

式は

$$2U_{2i} + 0.9U_{2i} + 8U_{2i} > \frac{3\gamma_n}{\gamma_p}$$

となり,  $U_{2i} > 0.3\gamma_n/\gamma_p$  のとき火力で揚水することが経済的となる。

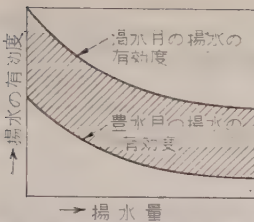
$U_{3i} = 0.9U_{2i}$ ,  $U_{4i} = 0.8U_{2i}$  という条件は B, C の各貯水池を溢流量最小となるようバランスさせるため, 火力で揚水することの可能性を示唆している。C 貯水池の水位が B 貯水池にくらべ著しく高い場合は  $U_{2i} = U_{3i} = U_{4i}$  となり, 火力のたき増しで揚水する限度は  $U_{2i} > 0.23\gamma_n/\gamma_p$  である。



第 13 図 B 併用式揚水発電所の揚水の有効度の一例

ところで IBM 650 による将来の電力系統 (昭和 37 年度) のシミュレーションの計算結果より, 毎月の揚水の平均有効度  $U_{2i}$  を求めてみると第 13 図のようになり, これによると 6~9 月の間では火力のたき増しで揚水することは不利で, 11 月以降もまた  $U_{3i}$ ,  $U_{4i}$  が零に近いので火力のたき増しで揚水することは経済的でなく, 結局昭和 37 年度の筆者の検討した系統では B 発電所へ火力のたき増しで揚水するのが経済的な月は, B 貯水池と C 貯水池との相互のアンバランスをみて,  $U_{2i}$  と  $U_{3i}$ ,  $U_{4i}$  との関係を推測し,  $U_{2i} = U_{3i} = U_{4i}$  に近ければ 4, 5, 10 月に火力のたき増しによつて揚水することもできる。他の月は系統の余剰電力で揚水しなければならない。余剰電力で揚水するとき  $\gamma_n = 0$  なので (11) 式を常に満足させることができる。また揚水量が増すにしたがって揚水の有効度は第 14 図のように減少する性質があり, これらは系統のシミュレーションの計算結果を利用して求めておくと, より現実的な運転指針を得ることができる。





第 14 図 併用式揚水発電所の揚水量と揚水の有効度との関係

$i$  日に揚水した水の何パーセントが溢流するかという揚水の溢流率  $S_i$  を想定すると

$$U_i + S_i = 1 \dots (12)$$

の関係が成立する。併用式揚水発電計画の経済性を考えるとき  $U_i$  または  $S_i$  のいずれか一方が判

明すれば、その運転指針を与えることができる。

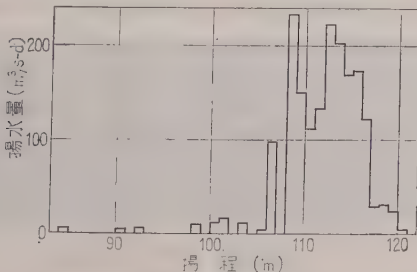
一般に純揚水発電所では  $U_i = 1, S_i = 0$

併用式揚水発電所では  $0 \leq U_i \leq 1, 0 \leq S_i \leq 1$  である。

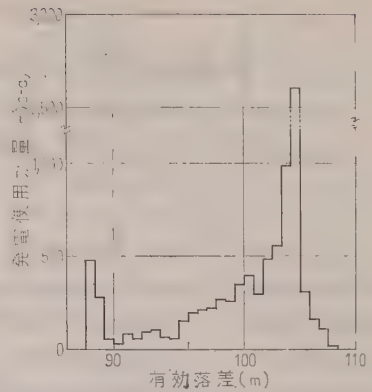
(4.5) 揚水発電機器の設計資料の算出 将来の揚水発電所を含む電力システムのシミュレーションの計算結果より当然揚水発電所の将来の電力システムにおける運用状況の詳細な資料を得ることができる。これはまた揚水発電機器の設計にあたっての基本的な資料となるものである。わが国で最初の可逆ポンプ水車を採用した B 発電所の運用状況から、筆者は機器の設計資料を求めることができたので、電力システムのシミュレーションがこのような方面にどのように役立つかの例を示す。

(i) 揚水量と揚程との関係 上流貯水池である B 貯水池の水位も下流貯水池である C 貯水池の水位もそれぞれ変化し、両貯水池水位間の変化量が B 揚水発電所の揚程として表わされる。どのような揚程のときに揚水する量が多いか、そのひん度分布または揚水量を知らなければポンプ設計の目標値を得ることができない。(揚水量-揚程)は電力システムのシミュレーションの計算結果を分類するだけで求まり、B 揚水発電所について示すと第 15 図のようになる。

(ii) B 発電所の発電使用水量と有効落差との関係 併用式揚水発電所では(揚水量-揚程)の関係以上に重要なのは(発電使用水量-有効落差)の関係であるが、同じ計算結果よりその関係を図に示すと第 16 図



第 15 図 B 揚水発電所における揚水量-揚程の関係 (14 個年流量) (IBM 650 による計算値)



第 16 図 B 揚水発電所における発電使用水量-有効落差の関係 (14 個年流量合計値) (IBM 650 による計算値)

のようになる。第 15 図と第 16 図との二つから揚水発電機器の効率曲線の決定、2 速度計画の可否、ポンプ水車別置などについての検討も可能となる。

## 5. む す び

貯水池計画を中心とした電力システムのシミュレーションの応用例として開発計画の場合について述べた。すなわち適正な電源開発計画の決定に応用できる方式を示したが、現在わが国で使用できる計算機では、ある程度簡易計算が必要で、またその簡易計算にあたっての必要な計算手順についても述べた。

電源開発計画のうち特に電力系統の特性と密接な関係を有する揚水発電計画の経済性の検討に、筆者のシミュレーションの方法が応用でき、揚水発電のなかでも複雑な様相をしている併用式揚水発電計画の具体的な経済性の検討方法について記した。また併用式揚水発電計画の経済的な運用方法は複雑であるが、その解明方法についても揚水の有効度という概念をたて、その有効度を求めておくことにより現実の運用に使用できることを示した。

なお本稿に引き続いて筆者はさらにシミュレーションの応用例として、水力供給力が系統の状況によって変化することや、受電料金の理論的な決定などについても述べる予定である。

終りに臨み種々ご教示を得た四国電力株式会社企画課長国近昭徳氏、および計算にあたり種々ご助力を得た企画課大岩喜重郎氏に深く謝意を表します。

(昭和 36 年 3 月 3 日受付, 同 6 月 28 日再受付)

## 文 献

- (1) 三木: 電学誌 80, 1807 (昭 35)
- (2) 三木: 電学誌 80, 1816 (昭 35)
- (3) 電源開発方式研究会: 電源開発方式研究会報告書付属資料 1 (昭 36-2)

## 高周波アークの再点弧と消弧の機構\*

准員 金 東 海† 正員 中 村 福 三†

## 1. 緒 言

多種多様の電気接点のうちで非常に特殊なものとして、航空機の誘導用レインジトランスミッタの空中線への、き電切換え接点がある。その接点は数アンペアにおよぶ高周波電流(数百キロサイクル)を短い周期で開閉する役目を持つが、厳しい回路条件のために開閉に際して大きいアークが発生する。これは雑音や電力損などの弊害を生じ、航空機の誘導に支障をもたらす。本論文は、高周波電流を開閉するときに発生するアークの性質を究明し、各種金属の高周波アークに対する消弧性および消弧現象を探究し、合わせてその抑圧方法を研究することを目的として行った研究の報告である。

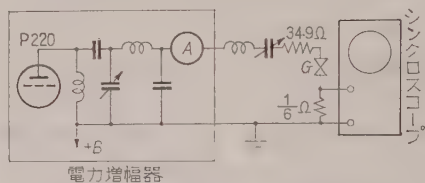
周波数数百キロサイクル付近の高周波アーク放電についてはその応用分野が限られているため、いまだあまり研究されていない。片山氏の報告<sup>(1)</sup>がこの種の研究のうちもっともまとまったものと考えられる。氏の研究によれば、高周波アークには安定なものとは不安定なものとの二つの形があり、この論文で取り扱っているのは不安定なもので、それは放電電極表面を激しく飛び回る性質を持ち、高い再点弧電圧を持つ一種の冷陰極放射形のアークと考えられる。筆者はこれらの事実を考慮しつつ、まず各種金属の高周波アークに対する消弧性を求め直流のそれと比較し、高周波アークの消弧現象の特殊性を確かめた。次に電極面に残るアークの形跡から、不安定形高周波アークの電極面上における移動は、陰極点のホップ現象によって起こることを見出した。そしてこの陰極点ホップ現象について実験的および理論的研究を行った。最後に高周波アークの消弧現象について解明を試みた。

実験は銀電極を中心にタングステン、銅、鉄、亜鉛およびニッケルなどの比較的容易に入手できる材料について行った。

## 2. 各種金属の消弧性

消弧性については、高周波と直流とは区別して考

える必要がある。直流アークの消弧性については、従来最小アーク電圧と最小アーク電流で判定しているが、高周波アークの消弧性の判定方法に関してはいまだ報告されていない。筆者は、高周波電流をしゃ断するときの高周波アークの持続長を測定し、これを消弧性判定の基準とした。第1図の回路において高周波電力増幅器の出力を $\pi$ 形結合回路を介して直列共振回路に加え、これに直列にはいった開閉電極  $G$  により高周波電流をしゃ断する。そしてそのときに発生したアークの持続長をシンクロスコープによって観測した。



第1図 高周波電流しゃ断試験回路

種々の電極試料に対して得られた結果を第2図に示した。開閉に際しては電極間に前の放電の影響が残らないように1sに1回程度の割合で電流をしゃ断した。

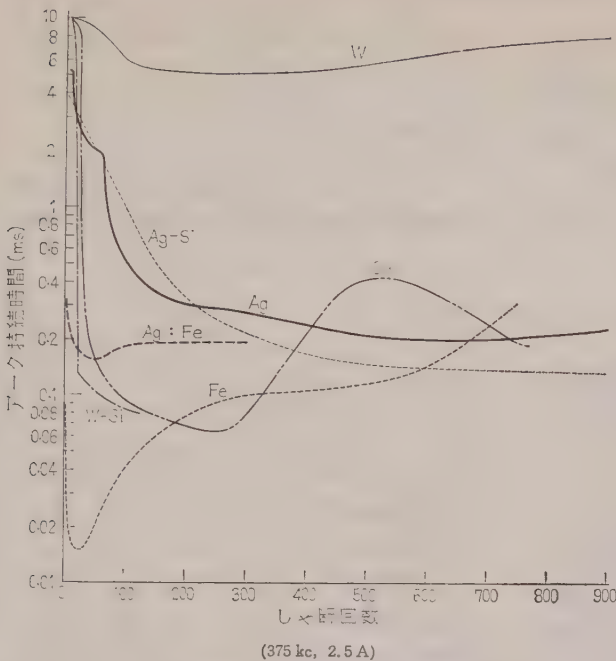
第2図を見ると、タングステンの消弧性ももっとも悪く、鉄がもっともよい。しかし鉄の場合には、しゃ断回数を重ねるにつれて、徐々に消弧性が低下する。銀と銅はだいたいそれらの中間の消弧性をもっているが、銅は表面状態の変動がはげしく、アークの持続長もそれに伴って変動する。銀は表面状態が安定で長時間よい消弧性を示す。また一方の電極を銀、他方を鉄とした場合は銀と鉄の中間の消弧性を示している。図の W-Si はタングステン電極の表面に適当量のシリコンを蒸着したもので、著しくよい結果を示し、また Ag-Si は銀とシリコン (0.5%) の合金で純銀よりもよい性能を示している。

以上の結果から、一般的な結論を出すのは早計であるが、ただ直流アークに対する消弧性のよい材料が必ずしも高周波アークに対して消弧性がよいとは限らないことがわかる。たとえば、タングstenは直流アークに対してはよい消弧性を示すにもかかわらず、高周波アークに対しては消弧性はきわめて悪い。また、鉄は直流アークではそれほどよい消弧性をもっていないが、高周波アークに対しては非常によい性質を示して

\* Mechanisms of Re-ignition and Quenching of High Frequency Arcs. By T. H. CHIN, Associate & F. NAKAMURA, Member (Faculty of Engineering, University, of Tokyo).

† 東京大学工学部電気工学科



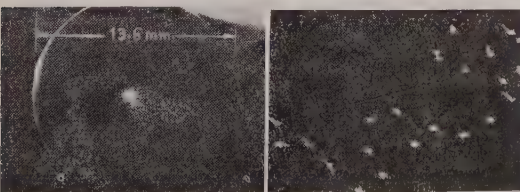


第 2 図 各種金属の高周波電流しゃ断回数に対する  
アーク持続時間の変化

いる。したがって、高周波アークの消弧性は直流の場合と異なった機構によるものと考えられる。高周波アークの消弧性については第 4 章で詳しく説明する。

### 3. 高周波アークの特性

(3・1) 高周波アークの陰極点ホップ現象 第 1 図の回路で、電極  $G$  を引き離してアークを発生させた場合には、一般に不安定形アークが発生し、アークが電極上を動き回る。このときに電極面上に残されたアークの形跡を観察すると、ほぼ規則正しい間隔をもった点列となっている。第 3 図はその様子を示すものである。これらの点列は電極の接触部分ではアークの陰極点および陽極点の形跡からなっているが、この部分を除いては陰極点の形跡だけである。直流微小アークの場合と同様に、ある程度放電ギャップが広がると、陽極点の形跡は認められないほど薄くなるからで



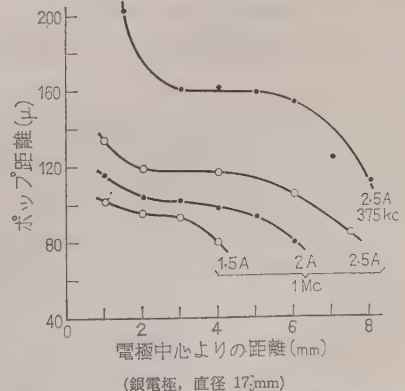
(a) 1 回の電流しゃ断後の形跡, (b) (a) の一部分を拡大したもの,  
中心は電極接触部 点間距離約 150~200  $\mu$   
〔銀電極 (球面-平面), 375 kc, 2.5 A〕

第 3 図 高周波電流しゃ断後、電極面に残る形跡

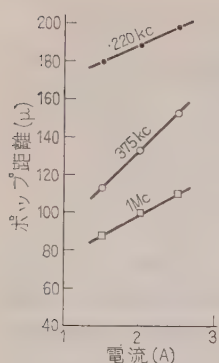
ある。(2)

いま高周波アークのように点滅をくり返すアークにおいて、後続アークの陰極点が先行アークの陰極点から離れた全く新しい点で発生することをホップ (Hop) するといひ、このような現象を陰極点ホップ現象と名付けることにすると、上述の高周波アークにおける陰極点の形跡が規則正しい間隔をもった点列となる現象、いいかえれば高周波アークの不連続的飛躍移動は、ホップ現象が連続的に起ったものとして考えられる。のちに述べるように、高周波アークはそれを半サイクル以内の短い時間で考える場合、持続長の短い直流アークとは本質的に同じものであり、高周波アークの特異性はそのホップ現象にあるにほかならない。そのホップ現象の解明により、高周波アークの性質もおのずから理解される。ここで、ホップ現象が外部条件によりいかに影響されるかを調べた。第 3 図の陰極点形跡からホップ距離を測定すれば、第 4 図に示すように中心から周辺までゆくにしたがって、

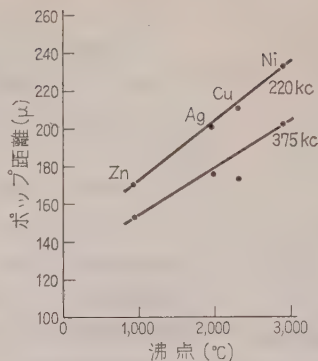
ホップ距離は徐々に小さくなる。そして、ある範囲ではほぼ一定の値を保ち、放電ギャップにあまり影響されない性質を示した。これ以後の測定値はこのようなほぼ一定値を保つ部分だけを取り、その平均値を求めることにした。第 5 図は周波数をパラメータとして、ホップ距離と電流の関係を示している。電流の増加に対しホップ距離は直線的に増加した。また、一定電流で周波数を変えた場合には、周波数の増加に対してホップ距離は減少した。電極材料による影響は第 6 図に示すように、材料の沸点が高いほど、その沸点に比例してホップ距離が大きくなっている。



(銀電極、直径 17.3mm)  
第 4 図 電極中心からの距離と陰極点  
ホップ距離との関係

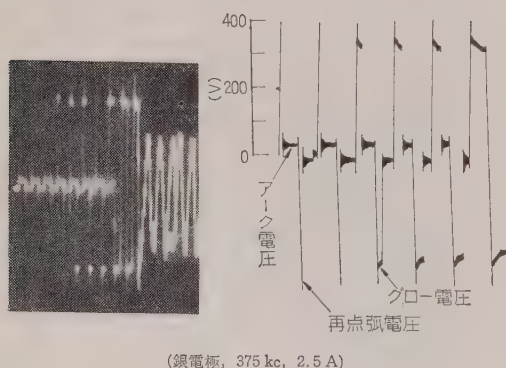


第5図 周波数をパラメータとしたときしゃ断電流と陰極点ホップ距離との関係(銀電極)

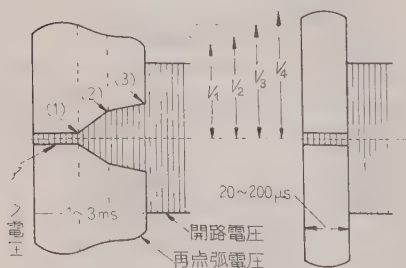


第6図 電極の沸点温度と陰極点ホップ距離の関係(2.5 A)

(3.2) アーク電圧と再点弧電圧 高周波アークは、その極性反転時に周期的に消滅する。不安定形アークの場合には、アークを持続するためにそのつど高い再点弧電圧を必要とする。そのときの電圧波形は第7図に示してある。300 kc, 3 A の高周波電流をしゃ断する場合、アークは長いときには数ミリ秒持続し、短いときには十数マイクロ秒しか続かない。その全体



第7図 不安定形高周波アークの電圧波形

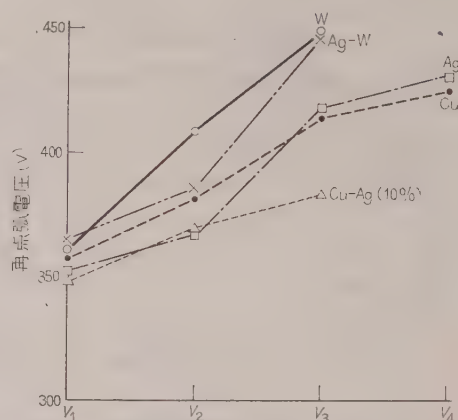


(a) アーク持続長の長い場合 (b) 短い場合

第8図 電流しゃ断時における電極間の電圧波形

第1表 高周波アークのアーク電圧

Ag 系	Cu 系	W 系
(1) 30~35 V	(1) 30~35 V	(1) 30~60 V
(2) 90~110 V	(2)	(2)
(3) 150~160 V	(3) 150~160 V	(3)
	(1)→(2) の変遷はほとんどない	(1)→(2) の変遷 (2)→(3) なし

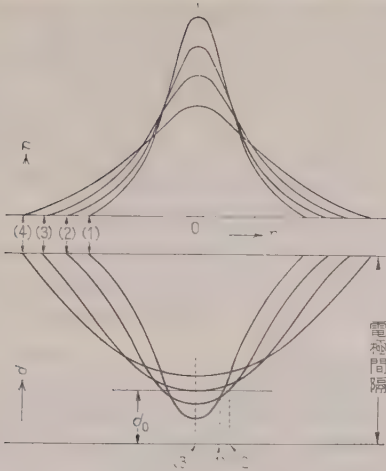


第9図 各種金属の再点弧電圧の時間的变化

の波形はだいたい第8図のようになる。第8図で持続長の長いアークは、そのアーク電圧が(1)、(2)および(3)の時間において異なった値を持っている。その値は第1表に示してある。持続長の短いアークの場合には、アーク電圧はいずれの材料においてもほぼ同じで、だいたい三十数ボルト程度である。それに対して再点弧電圧はだいたい第9図のように変化する。第1表と第9図の結果より次のことがいえる。アーク電圧の増加は放電路の長さの増加を意味するが、その放電路の長さの増加に対して再点弧電圧はむしろ低下し、また材料による差も徐々に小さくなり、だいたい 350 V 付近の値におちついている。この値は直流の空気に対する最小破壊電圧 330 V に近いものである。高周波アークの再点弧は第7図に示すように、電極間に直線的に立ち上ってゆく再起電圧によって行われる。以上の事実を考慮すると、それは再点弧に対して電極間に Paschen の法則を満足するような条件がなりたっていることをほのめかしている。

(3.3) 考察 陰極点ホップ現象の原因として種種考えられるが、高周波アークにおけるホップ現象に対してもっとも適当と思われ、他の現象をも矛盾することなく説明しうる原因として、イオンシース破壊の機構が考えられる。十分に消イオンされていない放電空間に電圧が印加された場合、印加電圧の大部分は陰





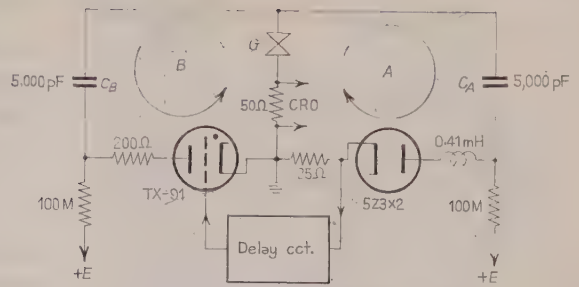
$n$ : プラズマ密度,  $d$ : イオンシースの厚さ

第 10 図 プラズマ拡散 (上) およびイオンシース生成 (下) の時間的变化

極直前に生成されたイオンシースにかかることは、周知の事実である。したがってそのときの電極間の絶縁破壊は主としてイオンシースの破壊の問題に帰着する。

高周波アークでは、電流が半サイクルの間だけ流れてアークが消滅する。その後、アークの陽光柱の残留プラズマは電極方向と周辺方向へ拡散してゆく。その間電極間の残留プラズマの密度分布が、たとえば第 10 図の (1), (2), (3) および (4) の順に変化したとする。そのおのおのの瞬間において、もし電極間に電圧が印加されれば各部分のプラズマ密度に対応した厚さのイオンシースが、おのおの第 10 図下図の (1), (2), (3) および (4) の分布にしたがって生成されるであろう。この場合に Paschen の法則が成立するとすれば、電極間の気圧とイオンシースの厚さとの関連で、最小破壊電圧を満足するところで絶縁破壊するであろう。たとえば電極間の気圧に対して最小破壊電圧を満足する厚さが  $d_0$  (中心よりの距離  $r$  の関数となろうが、便宜上一定とする) であるとすれば、 $d_0$  の線と各イオンシース分布曲線の交点の座標で破壊が起るであろう。このようにして半サイクルのアークが消滅したのち、次の半サイクルのアークは前のアークと少しずれたところで起る。すなわち陰極点がホップする。高周波アークはほぼ同じ条件でホップ現象がくり返えられるので、そのホップ距離はほぼ等しくなる。この考えを確かめるために、次に連続パルス放電による実験を行った。

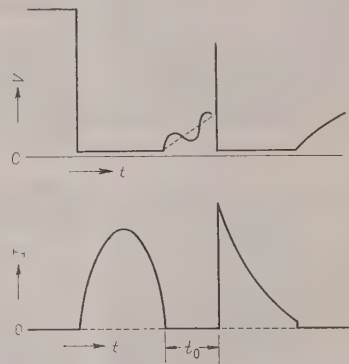
(3・4) 連続的パルス放電による実験 2 回の微小アーク放電を数マイクロ秒以下の時間間隔において、



第 11 図 連続パルス放電実験回路図

連続的に放電させると、高周波アークと同様な陰極点ホップ現象が起る。

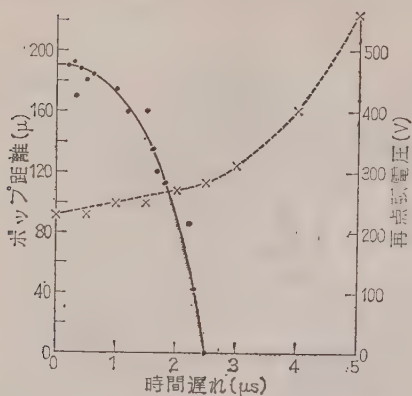
実験は第 11 図の回路を用いて行った。まず  $C_A$  および  $C_B$  を 1,000 V に充電する。次に試験電極  $G$  を徐々に近づけると、あるギャップの長さで  $A$  回路を通じて  $C_A$  の放電が起る。回路にインダクタンスをそう入してあるので、正弦波の半波の電流が流れる。 $B$  回路のサイラトロンはある時間だけ遅れてトリガされる。いいかえれば、 $A$  回路の放電後、ある時間遅れ  $t_0$  をもって  $C_B$  が  $B$  回路を通じて放電する。そのときの電極間の電圧-電流波形の一例を第 12 図に示した。



第 12 図 連続パルス実験における電極間の電圧-電流波形

このようにして放電を 2 回連続的に行わせたとき、放電の時間間隔を変えると、陰極点のホップ距離も変わってくる。その一例を第 13 図の実線に示した。またこのときの 2 回目の放電の再点弧電圧は同図の点線に示してある。 $B$  回路の放電時間遅れ  $t_0$  を徐々に大きくしてゆくと、ホップ距離は徐々に小さくなる。そのときの再点弧電圧はほぼ一定である。ある時間遅れ  $t_{00}$  でホップ距離が零となる。一方、再点弧電圧はこの時間遅れ  $t_{00}$  を境として急激に上昇し始める。実験条件を変えると、ホップ距離も変わるが、すべてが同様な傾向を示した。

上述の実験も前節において述べた考え方によって説

(銀電極,  $I_{\max}=3.6 \text{ A}$ )

第 13 図 連続パルス放電における時間遅れに対するホップ距離(実線)と再点弧電圧(点線)の変化

明することができる。第 10 図の下図において、時間遅れに対応してホップ距離は (1), (2) および (3) と移ってゆき、(3) で零となる。これは第 13 図の実線が零になる点に対応している。これ以上の時間遅れでは、もはや Paschen の法則の最小破壊条件を満足する点は存在しなくなり、再点弧電圧は残留プラズマ密度の減少にしたがって上昇してゆく。次にこの考えにしたがって拡散方程式を解いた。

電極面における再結合などの複雑な境界条件のために、拡散方程式を厳密に解くことは困難である。いま電極や再結合による影響を無視し、 $x=0$ ,  $y=0$  を通り、 $z$  軸に平行な  $\phi(t)$  という線状の源があると考え、(1) 式の拡散方程式を解く。

$$\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial n}{\partial t} \quad (1)$$

ただし、 $n$ : 荷電粒子の密度、 $D$ : 拡散係数

式の解は  $r^2 = x^2 + y^2$  として、(2) 式になる。

$$n = \frac{1}{4\pi D} \int_0^t \phi(t') \exp\left\{-\frac{r^2}{4D(t-t')}\right\} \frac{dt'}{t-t'} \quad (2)$$

次に荷電粒子発生の瞬時値  $\phi(t)$  について考えてみる。熱電離を無視して、衝突電離だけを考えたと<sup>(3)</sup>

$$\phi(t) = \pi a^2 \frac{n\alpha}{u} = \pi a^2 n u \alpha = \alpha I(t) \quad (3)$$

から、正弦波電流のときは

$$\phi(t) = I_{\max} \alpha \sin \omega t = N \sin \omega t \quad (4)$$

ここで、 $a$ : アーク陽光柱の半径、 $\alpha$ : Townsend の衝突電離係数、 $u$ : 電子のドリフト速度、 $I(t)$ : 電流の瞬時値、 $I_{\max}$ : 正弦波電流の最大値、 $N: I_{\max} \alpha$

しかし、 $\phi(t) = N \sin \omega t$  の場合 (2) 式が計算できないので、近似的に  $\phi(t)$  を高さ  $N$ 、持続時間  $T = (1/2)(2\pi/\omega)$  の方形パルスとする。すなわち、 $t < 0$ ,  $t > T$  で  $\phi(t) = 0$ ,  $0 < t < T$  で、 $\phi(t) = N$  とすると

$$n = -\frac{N}{4\pi D} E_i(-\tau) + \frac{N}{4\pi D} E_i(-\tau') \quad (5)$$

ここで、

$$-E_i(-\tau) = \int_{\tau}^{\infty} e^{-u} \frac{du}{u}, \quad \tau = r^2/4Dt$$

$$\tau' = r^2/4D(t-T)$$

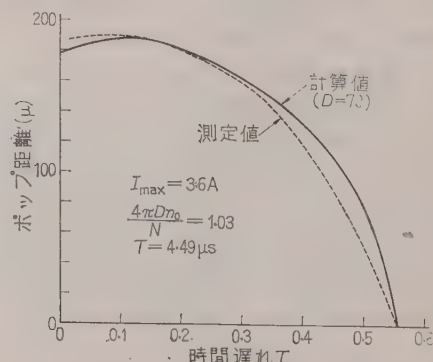
である。 $t > T$  の時間における空間の残留プラズマが問題になるので、原点を  $t = T$  に移して、 $E_i$  関数の近似式を用い (5) 式を  $r$  について解くと、(6) 式が得られる。

$$r^2 \approx 4DT\xi(\xi+1) \log \frac{\xi+1}{\xi} - \frac{16\pi D^2 n_0 T}{N} \times \xi(\xi+1) \quad (6)$$

ただし、 $\xi = t/T$ ,  $n_0$  は第 10 図において、 $d_0$  の厚さのイオンシースを作るのに必要なプラズマ密度である。第 13 図の実験結果から、 $t = 2.5 \mu\text{s}$ , すなわち  $\xi = 0.556$  ( $T = 4.49 \mu\text{s}$ ) のところで、ホップ距離  $r$  が零となる。したがって (6) 式より、 $4\pi D n_0/N = 1.03$  となる。(5) 式において  $n = n_0$  とし、 $4\pi D n_0/N$  の値を入れて、座標の原点を  $t = T$  まで移すと、次式が得られる。

$$E_i\left\{-\frac{r^2}{4D(t+T)}\right\} - E_i\left\{-\frac{r^2}{4Dt}\right\} = -1.03 \quad (7)$$

ある時間  $t$  に対して、(5) 式を満足するような  $r$  を見つけると、その  $r$  が Paschen の法則の最小破壊条件を満足する点の座標となる。この場合大気圧中におけるプラズマ拡散係数  $D$  の値がわかっていなければ



第 14 図 プラズマ拡散の理論より計算したホップ距離と測定値の比較



ならないが、仮に  $D=70\text{ cm}^2/\text{s}$  とする。(5) 式より  $r$  と  $t$  の関係を求めると、第 14 図の点線のようになった。これを実験と比較してみると、かなりよい一致が得られた。次に、(7) 式を  $t=0$  近辺で考えてみる。左辺第 2 項は非常に小さいから、それを無視すると、 $r^2/4D(t+T)=\text{一定}\geq 0$  の関係が得られる。ゆえに  $t=0$  で  $r(t)$  曲線は常に正のこう配(零こう配になるのは、 $T\rightarrow\infty$  のときである)をもつもので、 $r(t)$  曲線は必ず最大値をもつことになる。これの物理的意味は第 10 図の下図のように、(1) よりも (2) のほうがホップ距離が大きくなることで説明される。

次に高周波アークの場合に得られた第 5 図と第 6 図の結果を (6) 式によって説明してみよう。電流が増加する場合には、電離係数  $\alpha$  を一定と考えると、 $N=I\alpha$  の関係から  $N$  が大きくなる。その結果  $r$  が大きくなる。[ $\xi$  の小さい範囲で、(6) 式の右辺第 2 項は常に第 1 項より小である] 周波数が低くなれば  $T$  が大きくなり  $r$  が大きくなる。電極材料については、沸点が小さければ同じ電流値に対して電極金属の蒸発量が多くなるから電極間の気圧が上がる。 $pd$  一定の条件から、最小破壊条件を満足するのに必要なイオンシースの厚さが小さくなる。いいかえれば、 $n_0$  の値が大きくなり、結果的に沸点が小さいと、ホップ距離  $r$  も小さくなる。

以上のように、高周波アークにおけるホップ現象はイオンシース破壊の機構により定性的に説明できた。次に (7) 式を用いて定量的に簡単に調べてみる。 $4\pi Dn_0/N$  の値は銀の場合についてしか求められていないので、銀だけについて計算した。 $4\pi Dn_0/N$  の値は電流に逆比例するとして、実効値 1.5 A、2.0 A および 2.5 A の高周波電流に対して  $4\pi Dn_0/N$  の値はおおの 1.77、1.33 および 1.06 になる。次に  $D=70\text{ cm}^2/\text{s}$  とし、極性反転時において、アークが消えたあとから再点弧までの時間が無視できるとして、各周波

第 2 表 ホップ距離の計算値 [(7) 式による] と実測値 (第 5 図による) との比較 (銀電極,  $D=70\text{ cm}^2/\text{s}$ )

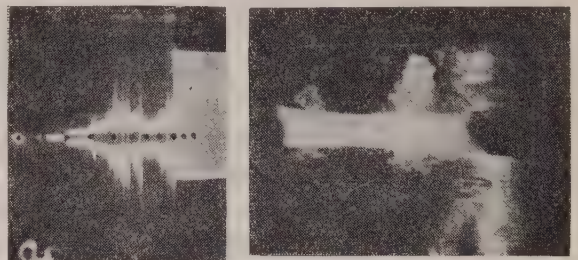
電流実効値		1.5 A	2.0 A	2.5 A
$\frac{4\pi Dn_0}{N}$		1.77	1.33	1.06
計 算 値	220 kc	165 $\mu$	212 $\mu$	249 $\mu$
	375 "	126 "	163 "	191 "
	1,000 "	109 "	141 "	166 "
実 測 値	220 kc	178 $\mu$	188 $\mu$	198 $\mu$
	375 "	113 "	133 "	153 "
	1,000 "	88 "	100 "	110 "

数について求めたホップ距離の値は第 2 表のとおりである。

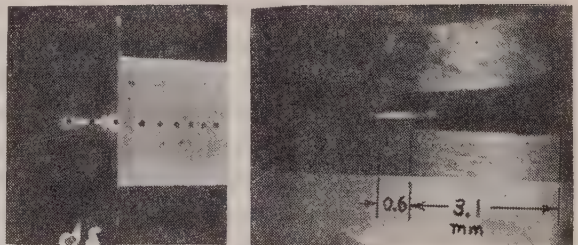
#### 4. 高周波アークの消弧

不安定高周波アークの二三の特性について前章で述べたが、この章では高周波アークの消弧の機構について考察する。

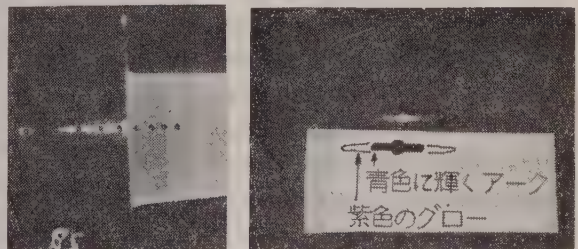
(4.1) 高周波アークの消弧状態 アークの消弧状態を観察するため、高周波電流をシャ断したときの電極間電圧変化をブラウン管オシログラフによって写真撮影する一方、アークの状態も同時に撮影した。実験は再現性のよい銀電極について行った。実験周波数は 375 kc、電流は 2.5 A とした。第 15 図にそのときの記録を示した。第 15 図の (a) は電極を細いサンドペーパーで研摩した直後の表面でシャ断したものである。アークはだいたい 4 ms 持続した。(b) は 80 回の開閉後、アークが急に小さくなった場合で約 300  $\mu\text{s}$  持続



(a) 研摩直後のシャ断



(b) 80 回目のシャ断



(c) 500 回目のシャ断

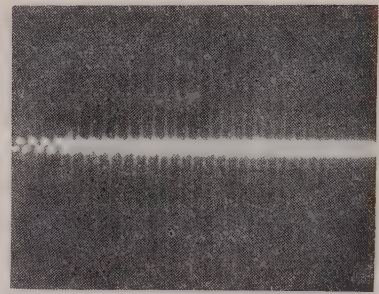
第 15 図 高周波電流シャ断時のアーク電圧波形 (左側, 点と点の間 0.5 ms を示す) とアーク状態 (銀電極, 357 kc, 2.5 A)

した。(c)は500回開閉後のもので、アークの持続長は100 $\mu$ s以下である。この場合放電は電極の中心接触部分でしか起っていない。表面はすでに一面皮膜(皮膜の性質について調べていないが、おそらく酸化皮膜であろう)でおおわれている。いまこのような皮膜に電極の接触部近傍から電極の縁まで、細いすじを1本入れると、次の数回の開閉ではアークは必ずそのすじを伝わって、縁まで飛び出していた。この場合当然アークの持続長もそれだけ長くなった。

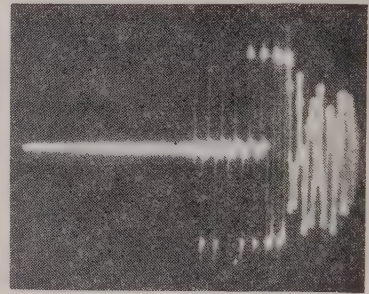
(4.2) 考 察 上述の消弧現象は次のように説明される。高周波アークの消弧は二つの重要な作用によってなされる。すなわち、(i)高周波アークが電極面を飛びまわる作用、(ii)アーク放電によって生成された強い皮膜の抵抗(あるいは他の作用)のために、放電電流の増加が著しく制限される作用。

第1の作用については前章において記述した。第2の作用については次のように考えられる。皮膜がアークの発生と成長に対してどのように寄与しているかはまだ充分明らかではないが、一般には電極表面に酸化皮膜があると、表面のイオン堆積のために絶縁破壊電圧が低下すると考えられている。ただし、絶縁破壊後にどのような影響を与えるかはあまり研究されていない。普通は皮膜のために表面仕事関数が低下するか、あるいはアークによって皮膜が消失して影響を与えないと考えられている。ここでは、絶縁破壊電圧のことは問題にならないが、絶縁破壊後、皮膜が電流にどんな影響を与えるかが問題である。皮膜が充分強く厚ければ放電電流がそれを破壊してしまうまでは、その高い固有抵抗のために電流が制限されることは充分考えられる。現に皮膜が存在するために放電電流の増加が制限され、絶縁破壊してからアークに進展できないで、グローになる確率が多くなる。第16図はその様子を示している。第16図の(a)はアーク持続長の長い場合(皮膜がないとき)の電極間の電圧波形である。アークが安定な状態で長い期間続いている。(b)はアーク持続長の短い場合(皮膜を生成したとき)で、数サイクルでグローが始め消弧している。おそらく高周波アークが移動して皮膜内にはいったためと思われる。観察によればその場合の放電電流は最初のうちはほとんど減衰しないが、グローが出るころから急激に減衰する。

以上のように皮膜が存在するため、確かにアークが発生しにくくな



(a) アーク持続長の長いとき  
(皮膜が生成されていない)



(b) アーク持続長の短いとき  
(皮膜が生成されている)

第16図 高周波電流しヤ断時の電圧波形の比較(銀電極, 375 kc, 2.5 A)

っている。このことは棒状電極の実験において、より明白に確かめられた。直径0.5 mmの棒状の銀電極を用いて、高周波電流をしヤ断したときのアークの発生状況を第17図に示した。第17図の(a)は電極を研摩した直後で、皮膜が生成されていない場合である。アークは棒電極の側面まで移動している。(b)と(c)は数百回の開閉後、棒電極の先から1.0~1.5 mmの所まで茶褐色の皮膜が生成された場合である。この皮膜の所でアークが発生しにくいため、アークはこれをまたいで発生している。いかにしてアークが皮膜をこえ



(a) 研摩直後のしヤ断 (b) 100回目のしヤ断 (c) 500回目のしヤ断  
(銀電極, 直径0.5 mm, 上が可動電極, 375 kc, 2.5 A)

第17図 棒状電極で高周波電流をしヤ断したときのアーク



て飛び移って行ったかはまだ明らかでないが、おそらく皮膚のために生じた過渡グローの拡張によるものではないかと考えられる。アークが移動して皮膚の部分にはいれば再点弧してまずグローになる。このときのグローは電流密度の非常に高い過渡グローであると考えられるので、このグローは非常な速さで横方向に広がる。もし過渡グローの広がり速度が  $500 \text{ m/s}$  <sup>(4)</sup> 以上であれば、半サイクル(375 kc)の数分の一の時間内に数百ミクロン離れた皮膚の不完全な部分に到達することができる。そしてこの部分に電流が集中し、グローからアークに転ずる。すなわち、見掛け上アークが数百ミクロン以上ホップしたことになる。

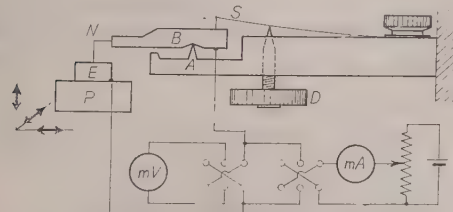
以上述べたように、高周波アークは (i) の作用で、電極上を飛び回り、皮膚の生成されていないときは、電極ギャップが充分大きくなって電流が減衰するまで持続する。皮膚が生成されているときには、(i) の作用のために皮膚のある部分に移動し、そして (ii) の作用で電流が減衰するため、直ちにアークは消弧する。

(4.3) 各種金属についての観察 第2図が示すように、各種金属は高周波アークに対して、その消弧性が異なっている。次におおのの金属の固有の性質と共通の性質とについて説明する。

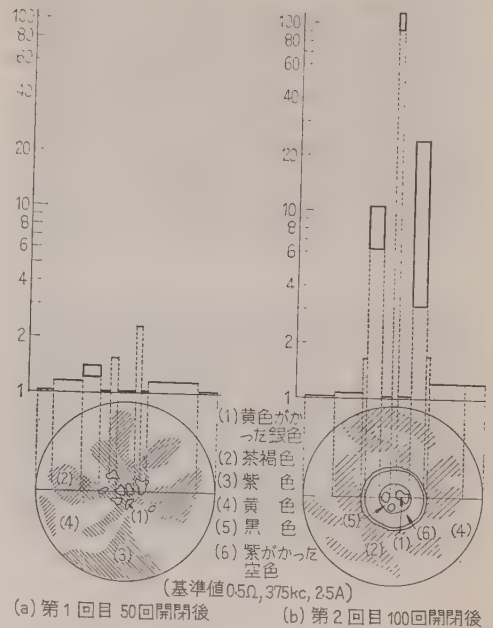
(a) 観察方法 高周波電流をしゃ断するとき、しゃ断回数が増すにつれて電極の表面状態が変化してゆく。そのためにアークの持続長もまた変化するということは前に述べた。その変化の過程をアークの状態、顕微鏡による表面観測および表面抵抗の測定の三つの方法によって調べた。

表面抵抗は第18図の装置を用いて測定した。ナイフエッジ  $A$  の上に天びん棒  $B$  を乗せ、その一端はばね  $S$  に押えられて静止している。 $x$ ,  $y$  と  $z$  軸方向に任意に移動可能な台座  $P$  の上に、被試験電極  $E$  を置く。円板  $D$  を回して  $S$  をつきあげ、 $E$  の上に測定用針電極  $N$  を圧着する。このようにして常に一定針圧 (2 g) をかけることができる。次にミリボルト程度の電圧で表面抵抗を測定した。針電極の接触部分の直径は  $15 \mu$  である。

(b) 銀電極 銀電極を 2,000 番のサンドペーパー



第18図 表面抵抗測定装置

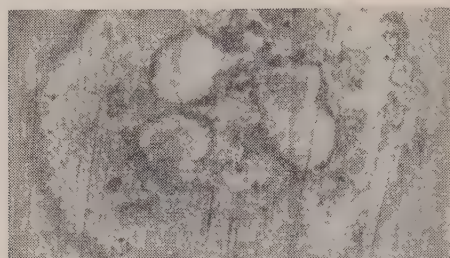


第19図 銀電極の表面スケッチと各部の接触抵抗

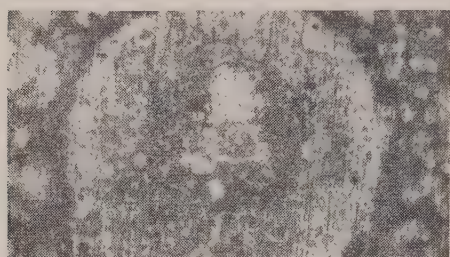
で研磨し、ベンゼンで表面を洗浄して、表面抵抗を測定した。数十点における抵抗値は一樣に  $0.5 \Omega$  の値が得られた。

次にこの電極を用いて、高周波電流 (375 kc, 2.5 A) をしゃ断した。50回のしゃ断でアークがいくぶん小さくなったときに第1回目の表面観察ならびに表面抵抗の測定を行った。次に電極をみがき直して、100回のしゃ断を行い、アークが充分小さくなり、ほぼ一定の持続長に落ち着いたときに第2回目の同様な観測を行った。第19図はその結果を示すものである。スケッチはおおの場合に対応する表面の模様である。表面抵抗はその中心線に沿って測定した。各点の抵抗値は  $0.5 \Omega$  を基準値としてその倍数でグラフに示した。長方形はそのばらつき範囲を示すものである。測定に際し皮膚抵抗値の小さい部分は安定で、抵抗値の高い部分は非常に不安定で、測定値が時間的に変化した。一般に通電時間とともに、抵抗値が徐々に減少した。ときには微小電圧に対して無限大の抵抗を示す点もあった。このグラフで示した値は、最低値があるいは測定値が安定になったときの値である。そして他の金属の場合にもこのような値をとった。

第19図より判明したことは、第1回目の観測では、接触点の周囲に皮膚が生成しているが、抵抗値の低い皮膚である。第2回目の観測では、接触点の周囲に環状の非常に抵抗値の高い皮膚が生成している。こ



(a) 純銀

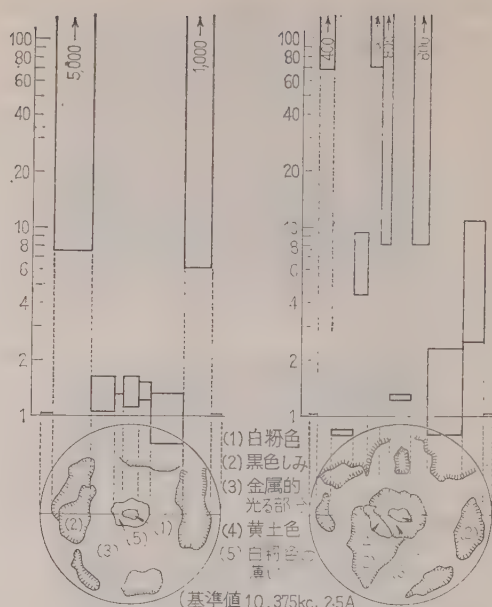
(b) 銀-シリコン (0.5%)  
(375 kc, 2.5 A, 100 回開閉後)

第 20 図 電極中心接触部付近の表面模様

の部分が高周波アーク電流の減衰に非常に効果的で、アークはこの領域を通りこすことができない。このような皮膜が電極接触部を環状に包み、アークの通路をふさいだ場合、アークの持続長が著しく短くなる。この事実是一般の金属にもあてはまることである。

次に銀にシリコンを 0.5% 含んだ金属と同様な実験を行った。だいたい銀と同じ傾向を示した。第 20 図に銀と銀-シリコンとの場合の接触点付近の模様(100 回の電流シャ断後)を示してあるが、その両者を比較するとシリコンのはいったものはその皮膜の色がより濃く、色彩に富んでいる。全般的に抵抗値も少し高く、安定な皮膜が生成されている。そのために銀-シリコン電極のほうがより長時間すぐれた特性を維持する。

(c) タングステン電極 タングステンについて銀と同様な実験を行った。この場合、純タングステンとその表面にシリコンを蒸着したものとを比較した。タングステンをサンドペーパーで研磨したのち、表面抵抗を測定したが、銀の場合よりもばらつきが大きかった。数十点における測定値から平均  $1\Omega$  の値が得られた。この電極を用いて高周波電流 (375 kc, 2.5 A) を 100 回シャ断したのち観測を行った。次に電極をみがき直し、シリコンによる処理を施してから、同様な電流を 100 回シャ断したのちに観測を行った。その結果を第 21 図に示した。(a) 図の純タングステンの場合をみると、電極の縁近くには高抵抗の皮膜が形成されているが、接触部付近の広い範囲に抵抗の低い部



(a) 純タングステン 100回開閉後 (b) タングステンをシリコンで処理した場合

第 21 図 タングステン電極の表面スケッチと各部の接触抵抗

分が残っている。アークはその抵抗の低い皮膜の所をとって移動できるので、皮膜による電流の減衰が行われない。このようにタングステンの場合はアーク路の増大によって電流の減衰が充分となるまでアークが持続するわけである。実際にアークの移動状況を観察すると、最初の数十回のシャ断を除いてアークは常に皮膜の弱い同じ道筋を通して移動するのが見られた。次に (b) 図のシリコンで処理した場合を見ると、接触部の周囲には非常に抵抗の高い環状皮膜が生成されている。アークが発生して移動すれば、その皮膜の所で急激に減衰し消滅する。そのためにアークの持続長が急減する。

結局純タングステンの場合消弧性が悪いのは、その皮膜の生成の仕方原因とする。普通の金属 (銀, 銅) はアークの通った所に皮膜が生成されるが、タングステンはむしろアークによって皮膜が除去される。アークの通らない所が、アークの熱あるいは陰極点よりの飛まつで強い皮膜が作られている。事実タングステン電極は高周波アークによって非常に蒸発、あるいは飛まつが激しいものである。

(d) 鉄電極 鉄の場合はサンドペーパーで研磨したのち、間もなく酸化されて強い皮膜が形成される。そして表面抵抗値は変動が激しく測定できなかった。したがって表面とアークの観察だけを行った。電流し



や断前すでに強い皮膜が生成しているために、アークも最初から非常に小さく、ほとんど接触部付近だけで消滅した。しかし開閉を重ねるにつれて、より厚い皮膜が接触部に生成され、接触不良を起すようになる。その部分はだいたい数百から数千オーム程度の接触抵抗を示した。その後も開閉を続けてゆくと、この皮膜がだんだん広がっていき、それにつれてアークの持続長も徐々に長くなった。この事実から、中心部分の厚い皮膜はアークに犯されていない周囲部の皮膜とは違った性質を持ち、アークを抑制することができない。

そこで、一方の電極を鉄とし、その皮膜によるアークの抑圧性を利用し、他方の電極を銀としてその良好な接触を利用すれば、第2図に示したように皮膜形成の過程を要せずに、初めから一貫した良好な高周波アークの消弧性を得ることができた。また接触部分の抵抗は両電極ともに銀だけの場合の接触抵抗と同じ程度の値であった。

## 5. 結 言

高周波アークはその極性反転に際して起る不連続性のために移動するものである。また、その消弧機構は特有のものであり、アークの移動性と電極面上の皮膜

の電流抑制作用によって構成される。電極表面に適当な皮膜を生成させることによって、高周波アークを著しく抑制することができる。

高周波アークとその消弧性について二三の具体的な結論は得られたが、それらに関連して多くの問題が残されている。たとえば皮膜によるアーク電流の抑制はどのような機構によってなされるか、またどのような皮膜が有効であるかなど、皮膜の研究は一般のアーク消弧性に対して新しい方法を与えるかもしれない。またプラズマ拡散の考えから、高気圧中のプラズマ拡散係数を求める手段のヒントが得られる可能性もある。

終りに、本研究にあたって終始懇切なるご指導を賜った本学山田直平教授、高周波増幅器の製作にご援助をいただいた東京芝浦電気伊藤健一氏に対して、厚く感謝の意を表する次第である。(昭和 36 年 1 月 12 日受付, 同 7 月 22 日再受付)

## 文 献

- (1) 片山: 電学誌 **58**, 743 (昭 13)
- (2) L. H. Germer: J. appl. Phys. **27**, 32 (1956)
- (3) J. Slepian: Conduction of Electricity in Gases, Westinghouse, p. 166 (1933)
- (4) 電気学会: 放電ハンドブック p. 158 (昭 33)

## 正 誤

稲垣米一・篠原原吉: 放射線照射によるポリエチレンの酸化と誘電的特性の変化〔第 81 巻, 7 冊, 874 号, 1077 ページ掲載〕

本文中第 2 図 (b), 第 3 図, 第 4 図, 第 5 図, 第 6 図および第 12 図中の縦軸 ( $\times 10^{-4}$  Mc) は誤ですべて ( $\times 10^{-4}$ ) (1 Mc) と訂正。

UDC 621.165(73) : 621.313.22

# 最近のアメリカにおける火力発電用 タービンの動向について\*

G. B. Warren†

講 演

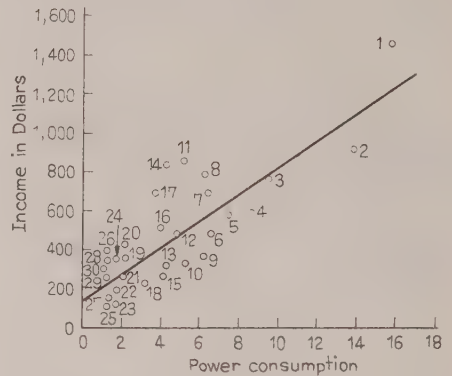
36-5

川田先生および宮本さん、および聴衆のみなさま方に、アメリカの機械学会および電気学会、両方のメンバーを代表して、感謝の気持ちを述べます。それから、学会のことについてはあとでいろいろ触れてみたいと思います。

日本に参りまして非常に嬉しいことは、自分とみなさまとの背の高さがだいたい同じくらいなので、非常に嬉しい。アメリカでは紹介されるときに下にスタンドを置いて、少し背を高くしなければならないような状態でございます。日本に來ましてからいろいろ愉快なことがありまして、きれいな山なんかも見ました。それから町をたくさん拝見しております。

日本へ参りまして、だいたい日本の電力の増加率が10%以上、14%というような話を聞いておりますが、自由国でも、あるいは独裁国でも、だいたいにおいて10%で、そんなに、日本ほど伸びているところはないと思います。では、私はアメリカにおける電力業界の発達ということについて、自分の原稿にしたがって話したいと思います。

250年ないし300年前に、アメリカの移民の初期の時代において、住民は生産のために人力、あるいは畜力以上の動力を得ることの重要性を信じておりました。このことは初期の住宅が水路の近くに沿って発達し、またとくに滝のそばとか、ダムが建設されて小馬力ながら水車の設置できるようなところに発達したという事実が証明しております。また200年ほど前にイギリスに起った産業革命は、蒸気機関の開発に直接関連のあったことも歴史の示すとおりであります。そしてこの蒸気機関の出現によって炭坑の水を汲み上げて炭坑の連続作業ができるようにし、また開発される産業への動力源を生む小形蒸気機関の発達をうながしております。もしわれわれが1人あたりの生産量と、1人あたりの利用するエネルギーとの比較をしますと、比較的大量に機械的または電氣的エネルギーを利用す



- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| 1. United States    | 21. Hungary     |
| 2. Canada           | 22. Chile       |
| 3. United Kingdom   | 23. Japan       |
| 4. Norway           | 24. Argentina   |
| 5. Belgium          | 25. S. Rhodesia |
| 6. Iceland          | 26. Israel      |
| 7. Australia        | 27. Mexico      |
| 8. Sweden           | 28. Uruguay     |
| 9. Czechoslovakia   | 29. Italy       |
| 10. W. Germany      | 30. Cuba        |
| 11. New Zealand     | 31. Yugoslavia  |
| 12. France          | 32. Panama      |
| 13. Poland          | 33. Colombia    |
| 14. Switzerland     | 34. Turkey      |
| 15. Union S. Africa | 35. Portugal    |
| 16. Netherlands     | 36. Costa Rica  |
| 17. Denmark         | 37. Greece      |
| 18. Austria         | 38. Peru        |
| 19. Finland         | 39. Brazil      |
| 20. Ireland         | 40. Iraq        |

第1図 1人あたり消費量と  
収入曲線 (40 国国)

ることにより高い生産力が得られるという、直接の関係がなりたつことが認められます。そして非常に低い生産力の国では、人力または畜力以外のエネルギーを、ほんの少ししか利用しようと計画しておりません。(第1図) 私の国の多くの人、あるいはその他の国でも同様ではないかと心配するわけですが、高度の生産力のある国は、単なるパワまたはエネルギーを出す装置以上のものを必要とするということを信じません。いろいろの分野のエキスパートによるいろいろの調査の結果によりますと、有効にエネルギーまたは動力を利用するために必要な生産用の投資は、生産される品物により違いますが、動力発生設備の3ないし8倍もすることです。したがって動力発生源あるいはその燃料およ

\* 昭和36年4月13日、G. B. Warren氏来日記念講演会において講演

† Past President of the American Society of Mechanical Engineers. Consulting Engineer to the Turbin Division of the General Electric Company.

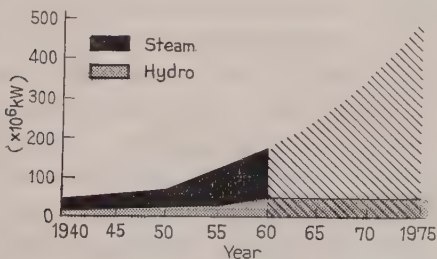


び生産用資本、すなわち工作機械類などは、すべて国の1人あたりの生産力を高い水準に保つためには、公衆のエネルギーまたは公衆の知識に加えて必要なものであります。

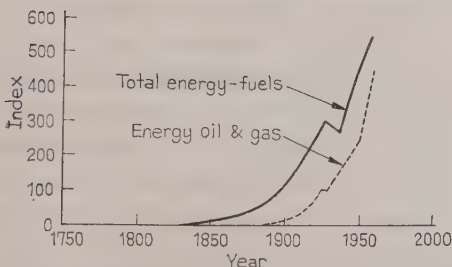
家庭において、あるいは農場において、あるいはオフィスにおいて、あるいは工場において、より良い生活を得る手段として、また生産力を増加する手段として約75～80年前から電力の発生の開発が行われております。それ以来、長期的に開発国では需用がだいたいの例外なく毎年5～14%の割合で増大しております。そして長い期間にわたってこれが電力需用の増加の現象となっております。とくに、日本では14%以上ということを知っておりますが、こういう例はほかにはないと思います。

ここに掲げました第2図では、過去20年間アメリカにおける電力需用の伸びを示しております。この伸びは将来も同じ比率で伸びるという見通しであります。が、全く驚くべき比率になっております。この曲線が示すように、将来ともこのような早さで伸びるかどうかということは、将来のみが判断することです。で、ごらんのように50年から60年のところを見ますと、アメリカでは約3倍ぐらになっておりますが、なんか日本ではそれが約5倍ぐらいたそうです。

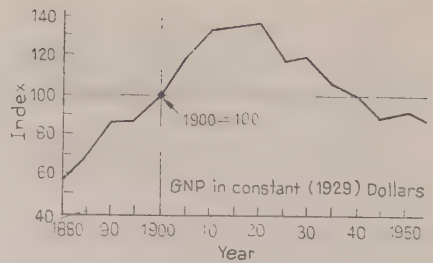
私は昨年ちょっとおもしろいデータを得ました。第3図はそれを示すもので、過去100年以上にわたるアメリカにおける化石燃料のエネルギーの生産を示しております。それによれば、われわれが文化の開発を促



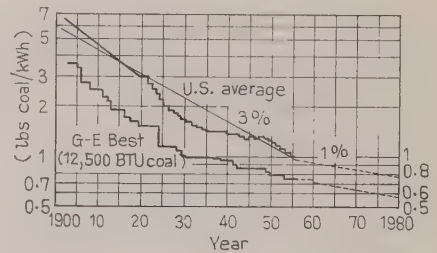
第2図 アメリカにおける発電容量



第3図 アメリカにおける化石燃料の生産

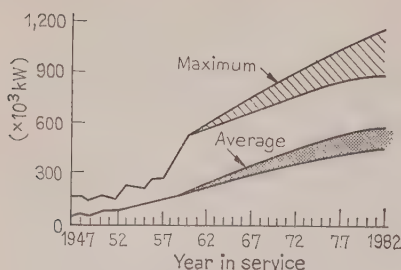


第4図 アメリカの全生産量に対するエネルギー消費量指数

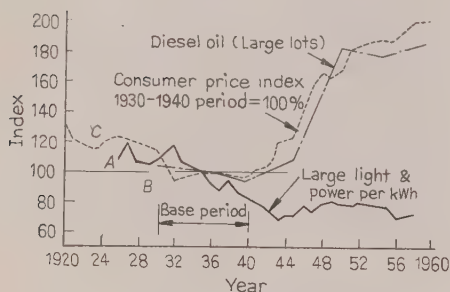


第5図 アメリカ発電所における石炭消費率

進するために、化石燃料の消費を毎年増加しているその早さを明らかに示しております。そして私の国およびよその国でも、原子力の利用についていろいろ調査をしているという一つの理由でもあります。この曲線は(第4図)ちょっと興味のある曲線でありまして、多少安心させる曲線でもあります。この曲線によれば国の生産量の単位あたりのエネルギー消費量を Index で示したものでありまして、1910 年ぐらいまでは非常に早い増大率でふえておりますが、1920 年ごろより動力発生のためのエネルギーの利用効率を高め、また生産に必要な動力、またはエネルギーの利用効率を高めたために 1955 年においては国の全生産の単位生産あたり費用をエネルギーに換算して 1/3 以上も減らしている。このことの一つの理由は次の曲線でもわかります。(第5図)これは 1905 年から 1960 年の間にアメリカにおける発電所の平均および最良の kWh あたりの石炭消費量をポンドで示したものであり、また将来 1980 年までをどうしたらいいかというように、われわれの希望的観測を入れております。このように燃料の利用の効率を高めている間に平均単基容量は第6図(一例として GE の例)に示すように増加しました。この曲線は昨年得たものでありますが、1947 年から 82 年までのアベレージのキャパシティとマキシマムのキャパシティを示したものであります。しかしすでに、もうこのマキシマムのほうはずっと予定よりも通り越して、テネシー・バレイ・オーソリティで



第 6 図 単基容量の増加の一例



第 7 図 電力費の低減曲線

はすでに 80 万 kW を生産しております。効率を上げ、またはユニットキャパシティを上げることによりまして、どんどん発電コストを下げることができました。で、第 7 図の曲線を見ていただくといろいろの点で驚くべきものがあります。たとえば A 曲線は 1924 年から 1958 年の間の大口需用家に供給される電力の kWh あたりのドル値を比較値で示したものでありまして、その値は 120 から 75 というような数値にまで連続的に下がっております。ほかの曲線 B および C は、それぞれ大量に使うディーゼル油の値段の比較指数と、消費物質の値段を示しております。で、この曲線でごらんのとおりに、二つの消費物質の値段は 1920 年から 1958 年に 2 倍になっておりますが、発電単価は 20 % 下がっております。ディーゼル油を使うエネルギー源の値段が、他のエネルギー源にくらべて充分競争しうるゆえに、ディーゼル油を使った電力をできるだけ多くの目的に使うことは、他のエネルギー源を利用することにくらべて長年の間ずっと経済的に上位を続けております。その結果、電力の需用増加をもたらしております。おそらくたいていの国では、このような関係がなりたつと思いますが、よその国のことはまだ自分は数字的に充分解析していないけれども、同じようなことだと思えます。

もちろん、なぜ電力がこのようにたくさん使われるようになったかということには、ほかにもう一つ理由があります。それは、電気というものは大量でも少量

でもいくらでも使い分けができる。それから輸送が容易で簡単である。またエレクトロニクスの発達によって新しい将来性のある利用方法が開発され、この融通性のある電力が、家庭にあるいは農場に、あるいはオフィスに、あるいは工場に利用されるようになったからであります。電力の重要性和経済性を総括的に見ると、そのようにいろいろなことがたくさんあります。

では化石燃料を使う発電所の発達、すなわち発電電力量の上昇または燃料消費量の減少を可能ならしめた発電所の発達歴史を簡単に振り返ってみましょう。1900 年以前にはすべての場合、動力源として往復動蒸気機関を使う必要がありました。これは大形で重く、動力単価も高くなります。そうして高圧あるいは高温、あるいは高い真空が有効に利用できないので、全体として効率が非常に悪く、この機械は kWh あたり 5 ないし 7 lb の石炭を要しました。20 世紀にはいって間もなく、ご承知のようにタービンがイギリスのパーソンズ、それからスエーデンのドラールバル、フランスのラトール、アメリカのカーチスと、ほとんど同時に開発されました。電力界の先覚者は、タービンが高速のために発電機を直接駆動するのに便利である。また高圧、高温とくに高い真空度が使え、非常に経済的になることを予見したがゆえに、直ちにこれを電気事業に使う重要性を認めました。その結果さきに申しあげました 4 個国全部が、またそのほかの国にもあるいはあるかもしれませんが、タービンの開発が急激に行われました。1910 年までに、それまでの往復動機関の最大容量の 2 倍以上の、1 基あたり 10,000 kW のタービンが使われるようになりました。そして直ちに 30~50 % の効率の増加を得まして、そのときの一般的にいちばん効率のよいタービンは、kWh あたり 2.5 lb の石炭消費量で電力を発生しておりました。

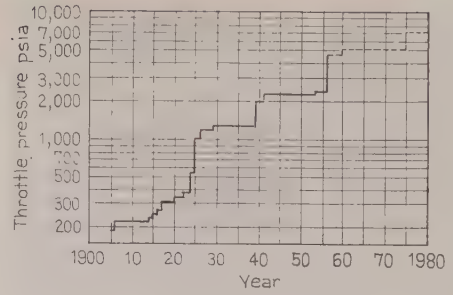
1905 年に立て形タービンを製作し、シカゴに納めたのですが、その後取りはずしまして、取り換えて、いまは GE では記念品としてすてつけてあるわけですが、そのじぶんには GE では立て形タービンをやっておりましたが、ほかの会社は横置きタービンをやった。しかし立て形タービンは大形には適しないというので横置きに換えたわけです。そして 1910 年から 1920 年の 10 年間に蒸気温度が多少上がっております。400~500°F ぐらい。それから圧力のほうは 200 lb となりました。タービン発電機の容量も 3 万 kW から 4 万 kW になりました。このころに作られた大形タービンでいろいろの困難にぶつかりました。タービンの翼の破損、またはインパルスタービンの場合には、たくさんの回転子の事故がありました。



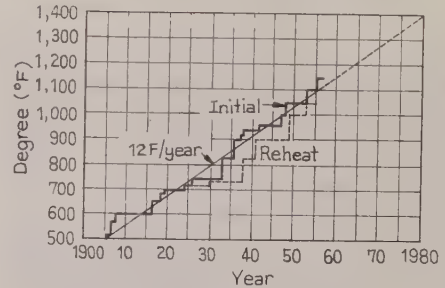
それからケーシングがひずんだり、それからもちろんスラスト軸受に故障があったり、あるいはダーミピストンといいますか、ラピンスに問題がありました。それから蒸気中の水分によるケーシングの浸食、また発電機および励磁機その他にもいろいろな問題がありました。1920 年から 1930 年の 10 年間にこれらの運転上および構造上の問題にうち勝つために、科学的研究が行われました。よりよいスチールキャストイングが使えるようになり、翼の設計の技術的発達で共振振動が避けられるようになり、同時にタービンノズルと翼が流体力学的に適合した形を作れるようになりました。タービンおよび発電機の信頼度も上がり、蒸気を持つエネルギーを有効に利用する効率の非常に高いものができました。1920 年から 30 年の中ごろにおきまして、もっと効率を上げるために、もっと高い圧力と温度も必要であるということが明らかになりまして電力会社、それからタービン製造業者、ボイラあるいは補機製造業者の協力で、圧力は 200 lb から 400 lb、次に 600 lb までに、それから最後には 1,400 lb までに上げました。温度も 750°F になりまして、この期の後半になって高温において材料的のいろいろな現象が現われて参りました。すなわちクリープという材料が比較的高いストレスおよび温度にさらされているときに起る緩慢な、塑性変形といういままでにあまり見られない現象が現われました。

その当時 GE におきましては水銀蒸気の利用について熱心にやっております、900°F 内外の温度で材料が使えなければならなかったのであります。そしてクリークまたはグロースの問題が重要となった結果、高い応力および高温のもとにおける材料のクリークという現象に対する法則を定めるために、いろいろの調査が進められました。

そして 1926 年に非常に大きな試験炉が作られました、この材料のクリークの法則を定めるための実験がなされました。その後間もなく他の現象が発見されました。すなわち高温および高ストレス間においては、たいいてい材料が、一定のラプチュアリミットを持つ。そこでは通常のねばりを失って材料が破壊するのです。再び同じような炉が建設されて、いろいろな成分の材料について諸性質の調査を行いました。通常の材料のほかに少量のクロム、あるいはモリブデン、バナジウム、あるいはそれらの組合せのものを入れた低合金の開発上に大きな進歩が行われました。1930 年から 1940 年の中ごろまでに、これらの材料の進歩によりまして 825°F、次いで 900°F、次に 950°F までにいけるような見通しができました。GE のこの方面



第 8 図 蒸気の最高使用圧力

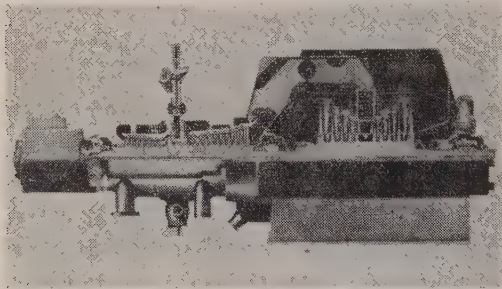


第 9 図 蒸気の最高使用温度

における努力は相当なもので、単に火力発電所用の良い材料を得るためだけではなく、航空機用の過給機のタービン用の材料、あるいはのちになって、いわゆるジェットの高スチール用の材料をも考慮に入れられたわけでありました。この期間の終りごろに GE ではクリープラプチュア試験機を非常にたくさん設備しまして、おそらく当時のその他の世界中の国の機械とほとんど同等数の機械をすえつけたと思います。

第 8 図ですが、これは入口蒸気温度の段階的な増加の状態を示しております。約 50 年間を通じて段階を平均した興味のある曲線を引くことができますが、それによりますと実現した温度の最大の増加率は年 12°F であります。しかしながら経済的な理由によって、われわれが材料かまたは作動流体になにか新しい突破口を見出さないかぎり、1,050~1,100°F 付近をさまよわざるをえないと思います。この状態が火力発電所に続くと思います。1,100°F 以上になりますと、効率の上がる割合より値段が非常に高くなる。この線図（第 9 図）はある程度蒸気圧力の最大値の変化を表わしておりますが、だいたいにおいて 12 年ごとに 2 倍になっております。ごらんのとおり段階的に上がっております、1925 年、次が 1939 年、それから次が 1956 年と上がっております、その段階の後にはしばらく一定の時代が続いております。現在われわれはアメリカにおいて 6 箇所、3,500 lb 以上の圧力で運転されている発電所を持っております。

次に再熱方式について一言申しますが、温度を上げるということは、経済的にもまた安全の面から高い信頼度を持つことにも困難があることが明らかになると、いつもタービンから蒸気を取り出してボイラにそれをもどし、再熱して再びタービンに入れるという、すなわち再熱方式に関しての疑問が出てきたわけであり、1920 年ごろ、約 200 万 kW が 750°F の温度で建設されております。しかし 950°F の出現に対して電力会社および運転する人は、簡単な再熱しないサイクルを喜び、1930 年から 1945 年の 15 年間は、再熱形は、1 台も作られなかったという状態であります。1946 年にもし再熱を利用すれば、温度および圧力をそれ相当に上げなくとも、4~6% の燃料節約ができるだろう。たとえば入口蒸気温度が 1,000°F であっても可能であろうということが再び明らかになりました。そしてこのことはもし圧力を 2,000~3,000 lb までに上げれば、とくにそういうことがいえるわけであ



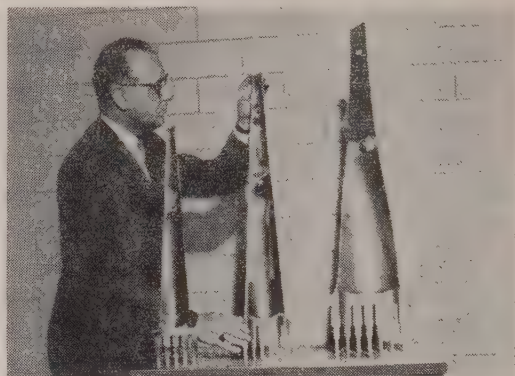
第 10 図 ダンカーク向け再熱タービン断面図

ります。その結果設計が始められ、第 10 図にありますように簡単な再熱タービンが出現しました。これを運転することは、運転者から間もなく非常に喜ばれました。この機械は高压、中圧を組み合わせ、流れを反対方向にし高温の再熱蒸気が比較的低温の蒸気のある軸受スパンの中ごろに入れられるようになっております。そしてタービンの両端のパッキンおよび軸受のすぐそばでは 700°F ぐらいの比較的低い温度に保たれております。このタービンでは低压がダブルフローになっておりまして、ほかのアレンジメントでまたお目にかかけられます。

ナイアガラ・モホークのダンカーク発電所には、相当たくさん台数の機械が作られ、そのうちのあるものは日本にもすえつけられ、あるいはまた日本でも製作されております。全体的にいてこれは非常に成功した機械であって、再熱による経済性の結果、アメリカにおいて新しいタービンの注文は、現在すべて再熱形であります。(第 1 表) アメリカにおける電力界の全設備容量は、前 10 年間に約 2 倍になっております。

第 1 表 アメリカ火力の進歩の総括表

Installed Capacity Doubles Every 10 Years
Unit Capacity Doubles Every 8 Years
Initial Pressure Doubles Every 12 Years
Initial Temperature Increases by 100°F
Every 8 Years



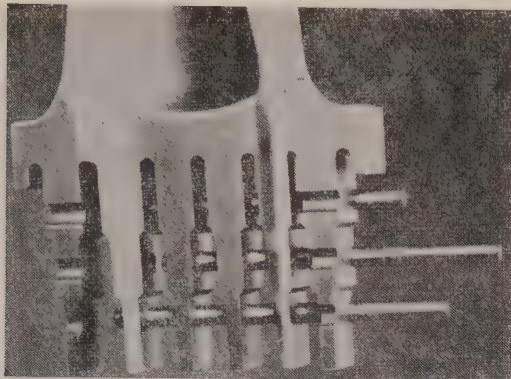
第 11 図 ピンタイプダブテール 43 in 翼

また 1 台あたりの容量の平均も、8 年ごとにだいたい 2 倍になっております。入口蒸気圧力も 12 年ごとに 2 倍になっております。温度のほうも毎年 12°F の割合、すなわち 8 年間に 100°F ぐらい上がっております。1930 年から 46 年の間に 2,400 lb のプラントが一つ、および 18,000 lb のプラントが一つ完成しました。950°F から 1,000°F に耐える材料としては、モリブデン、あるいはクロム、バナジウムの少量を加えたものが標準となります。パイプの溶接部の近い部分におけるグラフィテゼーションの問題が起りましたが、解決されました。非常に長い翼が開発され、信頼性も高くなりました。1946 年以降、さらに大形のタービンができるようになりました。前に申し上げましたように再熱が標準的になりました。

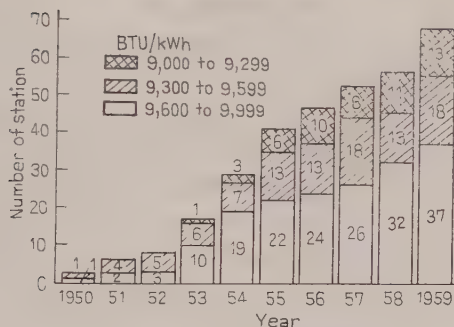
この第 11 図で示す新形のマルチフィンギンタイプダブテールが開発され、さらに長い最終段落の翼ができるようになりました。(第 12 図) 二三の例で温度は 1,100°F を採用し、二つの発電所では 1,200°F として建設されましたが、私の知っているかぎりでは、これらはこの温度では運転していないようであります。入口蒸気圧力は整理され、大部分の発電所が 1,800 から 2,400 lb で建設されるように標準化されております。

同時に二つのボイラメーカーがいわゆるドラムレスあるいはポンプレスボイラを 3,500 から 5,000 lb の、いわゆるスーパクリチカルの圧力を用いて使うように熱心に関係に従事してきました。で、六つのタービン発電機の設備が、アメリカでこの条件でうまく運転し





第 12 図 植込部の拡大図



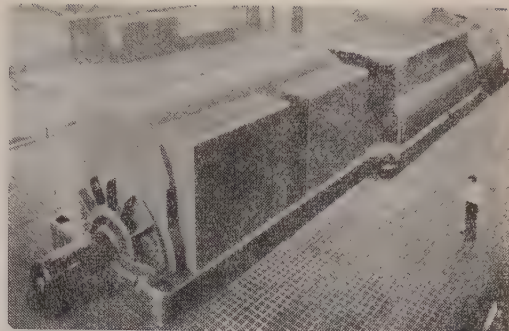
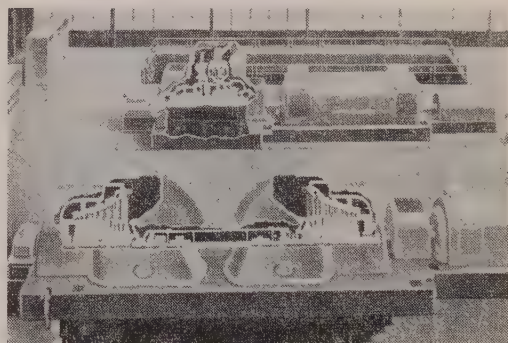
第 13 図 FPC の気力発電所報告

ております。それは前にも申し上げたとおりであります。そしてそのうちの一つを除いてはすべて蒸気は2段再熱をしております。第1段めは1,300 lb のところ、2段めは300 lb のところで再熱が行われております。

Breed 向のユニットはクロスコンパウンドのタービンで、これらの一つの450 kW で熱消費量が8,400 BTU/kWh 以下で、燃料の高位発熱量で計算して総合熱効率率は40.5%になります。この効率は非常にすばらしいものであって、おそらく世界一だと思います。

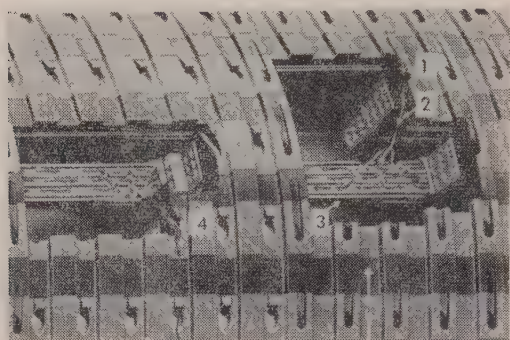
圧力、温度ともいっそう高いものを使用するようになった結果アメリカでは効率の高い発電所が引き続いて増加しております。この第13図に示しますように、これはアメリカ Federal Power Commission のレポートの1959年からのデータによって作っておりますが、アメリカの年間平均の熱消費量が10,000 BTU/kWh、それから9,600 BTU、9,300 BTU 以下の発電所の数がふえていることを示しております。

この図のように、タービン発電機の進歩は、アメリカでは二つのラインに沿って進んでおります。一つは大形の単軸3,600回転のタービンで第14図に示す形のものであります。これは275,000 kW を出した最初の単軸タービンであります。他のグループはクロ

第 14 図 CEI の単軸 275,000 kW  
タービン発電機第 15 図 Will County 発電所の  
3,600/1,800 rpm 機

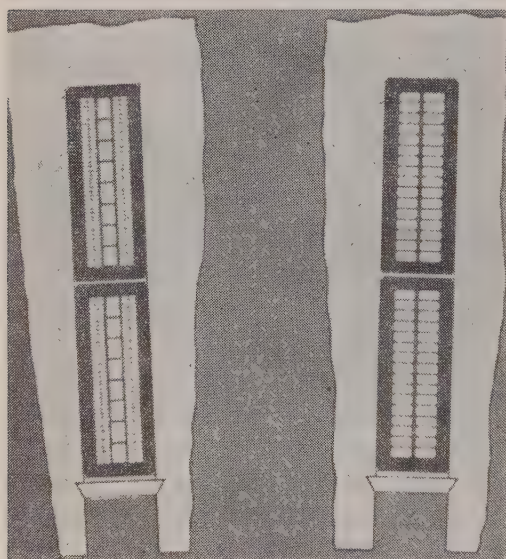
スコンパウンドを進めておりますが、クロスコンパウンドのほうがタンデムにくらべ長さが非常に短くなっております。両方とも使う条件によってそれぞれ特徴があります。第15図に示すのは大形のクロスコンパウンドで、高圧は3,600回転、低圧は1,800回転で、ダブルフローです。アメリカのある地方で、真空度が高くできる場合には効率をよくすることができます。この形式のものでTVAでいま50万kWのものが、ごく最近運転を始めました。

次いで発電機のことについて、ちょっと大事ですから二三申し述べたいと思います。結局問題はキャパシティでありまして、とくにタンデムコンパウンドの場合に発電機がリミッティングキャパシティになります。最近数年間に非常に開発された技術の一つは、大出力の発電機のコンダクタの冷却方法で、(第16図)最初には空気冷却のかわりに水素冷却を使うことによって効率を上げることができました。水素のほうは空気にくらべますと熱伝導率がよくて、ウィンディジロスがずっと小さくなります。この進歩の一つとしまして、発電機の回転子のコンダクタを中空とし、回転子の回転運動自身で水素ガスをポンプアップし、中空のコンダクタに通し、非常に有効に熱除去を行います。



1 & 2: Inlet Cold Gas Passages  
3: Internal Winding Passages  
4: Outlet Warm Gas Passages

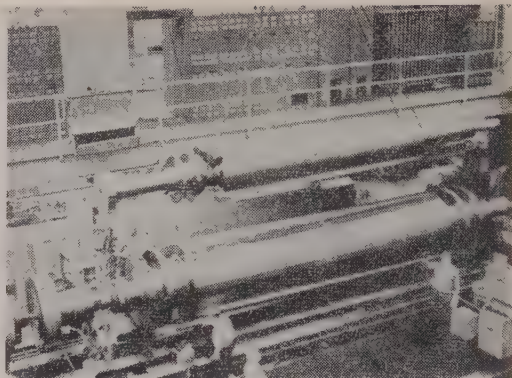
第 16 図 コンダクタ冷却発電機軸



第 17 図 固定子のコンダクタ  
を冷却するもの

(第 17 図) ステータワインディングの場合には二つの方法が考えられております。左にありますのが一つでありまして、それはワインディングの中にステンレス鋼のガスダクトを設け、ガスダクトとワインディングの間は薄い絶縁物を入れてあります。このガスダクトを通して比較的高い圧力のファンで水素を送ります。もう一つの方法はもう少し有効なもので、ステータのすべてのストランドを中空とし、油または純度の高い水を直接にストランドを通して送り有効に熱を取り去るものであります。この冷却方法は発電機をどんな回転数でも大きい出力にすることができ、実際にタービン発電機のケーパビリティをきめる上に発電機側としては制限がない結果となりました。

次に発電機回転子の材料のことに話をかえてみたい



第 18 図 一つの鍛造品でできた  
最大の鍛造ロータ

と思います。タービンおよび発電機を通じてよりよい材料を得ることについてはいろいろと注目されてきております。タービンおよび発電機に使った大形鍛造品の事故が数件ありました結果、5年以上にわたりアメリカのタービン発電機メーカー3社と、製鋼会社5社が共同し、そのほかに ASME および ASTM の援助のもとに熱心な共同研究が行われました。その結果強度の改善、大形鍛造品の健全性と信頼性が、前の半世紀に行われた進歩以上に改善されました。(第 18 図)

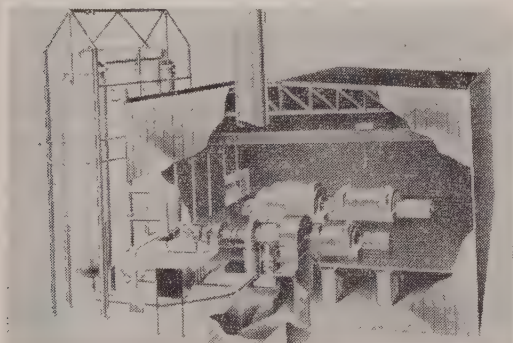
アメリカの最近の進歩の一つに、蒸気タービン駆動の補機があります。火力発電所のではじめの最初のころに、給水ポンプとボイラのファンはほとんど小形蒸気タービンで駆動されましたが、このタービンは効率もよくなく、蒸気管を発電所の各部に配管することが非常に複雑になり、また復水が空気と接し、復水中の酸素量が増加する結果となりました。1920 年から 1955 年の間は、電動の補機を使って、蒸気のサイクルは主機だけにかぎり給水ポンプ、給水加熱器、ボイラへと循環させるのが一般的でありました。当時は最大の補機は約 1,200 ps でありました。ユニットの大きさが大きくなり、圧力がユニットサイズとともに高くなって給水ポンプの動力は非常に増加し、だいたいキャパシティの 2 乗で増加しております。20 万 kW、2,400 lb の場合に 8,000 ps、3,500 lb、45 万 kW の場合には 25,000 ps 以上になっております。さらにこれらの高圧でボイラ給水ポンプの回転を増しまた可変速度にすることにより利益を得られる見込みでしたが、タービンが理想的にこの 2 点にマッチできるのであります。その結果非常にたくさんの復水式、または背圧式のボイラ給水ポンプ用タービンが主タービンのサイクルに組み込まれました。そして全体のコストの低減、さらに効率の向上をはかっております。

もちろんわれわれの多くは、発展の次の段階になに

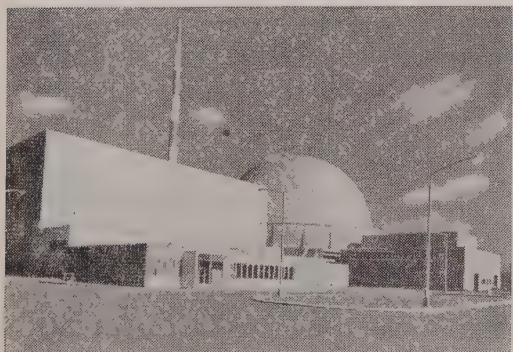


があるかということに、たえず考えをめぐらしております。ガスタービンはオイルやガスが燃料として使用できるときは、動力の発生の方法としてはたいへんに有効であるとして開発されてきました。みなさんご承知のように、ジェットエンジンにガスタービンが使われております。複雑な熱交換機のないときは、ガスタービンの効率は最新の気力発電所程度ではありませんが、一方ピークロードに対しては安い自動操作の発電所として充分価値を持っております。かつ電力系統上肝要な地点に設置ができて、ピークロードを処理する発電所のコストを安くするだけでなく、地域的に集中化されていない負荷を処理するのに、送電線の経費を節約できます。このような利用法について、毎年使用される燃料は、とるに足らないものでありまして、ガスタービンプラントの簡潔なことは比較的効率の悪いことをカバーしております。

さらに高温側においてガスタービンを使い、低温側において蒸気タービンを使うコンバインドサイクルの可能性というものが考えられております。いずれの単独サイクルで考えるものよりも、効率ははるかによくなります。現在アメリカでは3個所にコンバインドサイクルが動かされておりますが、(第19図)容量はかなり小さく、すなわち20,000 kW 以下であります



第19図 コンバインドサイクル発電所



第20図 ドレスデン原子力発電所の外観

が、20,000 kW で燃料にガスを使用するプラントが現在建設中です。このようなサイクルに石炭燃焼を取り入れる問題はまだ解決されていませんが、計画はこの方向に進んでおります。

みなさんは、私がなぜ原子力発電について触れなかったか、おそらく不思議に思っているでしょう。アメリカでは原子力の創成期から、この形式について非常に興味を持ち、全世界の急激に増加するエネルギー利用に合致する適当な将来の燃料であるという観点から、原子力の平和利用は人類の最大の希望であるということを認識し続けているのであります。その結果、ご承知のようにきわめて多くの原子力発電所の建設が行われておりまして、みなさんご承知のように1年前 GE はシカゴのドレスデン発電所に18万kWのプラントを成功裏に運転させました。第20図は外側からの景色であり、第21図はタービンのクロスセクションを示しております。これは二重サイクルのBWR形でありまして、高圧が1,000 lb、低圧が500



第21図 ドレスデン発電所のタービン

lb の飽和蒸気を使用しております。タービンは高い真空度を有効に利用できるように製作されております。原子炉はいま申し上げたように BWR 形でありまして、その実際の性能は補機動力で予期していた値よりも2%少なく済み、タービンの効率も約2%上回りました。またプラントのすべての性能は予期していたとおりで、原子燃料にいたっては予想よりも4%程度よい効率で使用されております。もちろんこのプラントからの電気は少し高いものでありますが、これは設備費が高いことによるものでありまして、さらに石炭、石油などを燃料とするプラントよりも、燃料の製法がかなりコスト高であります。しかしながら、これからの開発はある与えられた原子炉からより多くの出力をとるようになるでありましょうし、燃料費も下がる。あるいは燃料の燃焼度も上がり、また使った燃料の放射性廃棄物の取扱費も下がり、経費も減じていくことは充分考えられることで、そのときはこの原子力プラントは化石燃料の発電所に匹敵し、あるいはそれを下回る安い電力単価になると思います。

アメリカにおいては、利用できる化石燃料はかなり



第 22 図 総合技術者センター

の量で、依然として多くの世界の発見者によって見つけ出されており、油やガスの量も増加をたどっていることは、アメリカにおいては原子力発電所の発展を緊急なものとしないのでありますが、日本における立場は全く違うということを私は充分認識しているつもりであります。必ずここ数年のうちに世界の各国で、この方面の開発が強力に進められて、着実に進歩し、原子力発電を日本における問題の解決法として提供できることを私は固く信じております。

最後に私は、“テクニカルエンジニアリングソサエティ” ちょうどみなさんのようなところが、非常に重要な役目であるということについて、二三申し上げたいと思います。この第 22 図は最近、国連のビルの前に建てられた約 1,200 万ドルを投じたエンジニアソ

サエティビルディングであります。ご承知のように私は ASME の国内活動に、あるいは地方の活動に多くの年月を費しました。4 年間理事として、また 1 年間は会長をやってまいりました。アメリカにおける工業の発展を回顧してみますと、工業の発展が工業技術や科学の学会の 90 年ないし 100 年にわたる発展と並行してなされてきたことを知るにつけ、異なった技術者、あるいは異なった会社や組織の間で行われた生きた情報交換が、これらの学会を通じて行われてきたということがアメリカのなしてあげてきた進歩のもっとも基礎的な理由にほかならないという感を禁じえないのであります。あるいは個人、または会社間、あるいは国際間で、このような情報交換が熱心に行われるときは、与えられたものよりも多くのものがかえってくるものでありまして、自分自身だけで得たものよりも 10 倍ないし 20 倍、あるいは 100 倍の、他の組織で学び得たものを知ることができます。これは総合技術者センターの建物でここで国内または国際間の交換が行われる。私は世界の進歩はわれわれ 20 世紀の初め、非常に勢いでなしたように、こんごやはり同じような勢いでやることができるとすれば、それは国内の、あるいはさらに国際間の科学や技術の情報の自由な交換なしでは得られないのではないかと思います。

最後に私は学会の一員として、みなさん個々の人にあるいは学会の一員としてのみなさんに、アメリカにおけるこれらの学会に協力し、いっしょになってよりよい世界を作るための集いに招待したいと思っており次第でございます。どうもありがとうございました。

(拍手)

〔訳者 吉村国土 (日本原子力事業株式会社)〕



UDC 621.313.33 : 003.62

## 誘導機に関する量記号(要旨)\*

報 告

36-8

## 誘導機専門委員会†

誘導機専門委員会では AIEE 規格その他を参照し、また国内の主要文献、各電機製造会社の用例などを調査し、誘導機に関する量記号の推奨案を作成した。以下にその要旨を紹介する。

(1) 記号標準化の一般原則 誘導機に関する量記号(以下、単に記号と略称する)の選定には、次の一般原則によった。

(i) 主記号は必ず1字とし、必要に応じて添字を付けて区別する。

(ii) 添字は原則として、1字で一つの意味を表わすものとし、添字に添字は付けない。添字を付ける順序は、原則として主記号を大きく限定する添字(たとえば、 $B_t$ ,  $D_0$ ,  $k_a$  などにおける添字)を最初に付け、ついでその量の属する位置(一次、二次など)を示す添字、その量の状態(無負荷、全負荷など)、性質(正相分、逆相分など)を示す添字を続ける。

(iii) 肩字の付いた記号に指数を付ける場合は、必ず括弧で囲む。

(iv) 字体の標準は第1表による。

第1表 誘導機に使用する記号の標準字体

	字 体	例
ス カ ラ	斜 体	$D, \theta$
ベ ク ト ル	太 字 斜 体	$H$
フ ェ ー ザ	斜 体	$E$
共 役 フ ェ ー ザ	"	$E^*$
フェーザの大きさ	"	$E$
添 字	"	$E^h, E_h$
数 字	立 体	$4, E_4$

(2) 推奨記号に対する共通事項 記号の使用は次の共通事項にしたがうものとする。

(i) 実効値は大文字体の記号で表わし、瞬時値はその記号の小文字体を使用する。平均値、最高値は大文字体の記号に 適当な 足字を 付けて 区別する。ただし、電力、動力などの記号は足字なしで平均値を示すことを原則とする。

(ii) 原則として、二次側に関する記号はすべて一次側(单相機の場合は主巻線側)換算値を示す。

(iii) 一次と二次との合成量を表わす記号は大文字体を使用するものとする。

(iv) 多相機の場合、電圧およびインピーダンスの記号は、原則として端子—中性点間の量を表わす。

(v) ひんぱんに使用される足字については、第2表のような標準を定めた。

第2表 誘導機に使用する標準足字

$a$	单相機の補助巻線関係
$d$	单相機の直軸関係
$L$	定格負荷時
$l$	無効分
$M$	励磁回路関係
$m$	单相機の主巻線関係
$n$	逆相分
$O$	無負荷分
$p$	正相分
$q$	单相機の横軸関係
$S$	起動時・拘束時(同期速度)
$s$	くま取りコイル関係
$U, V, W, X, Y, Z$	相別を示すとき
$w$	有効分
$z$	零相分

(vi) 一次量を表わす足字は“1”、一次換算の二次量を表わす足字は“2”とする。回転子に2個以上の巻線のある場合は、その合成量の一次換算値に、足字“2”をつけ、個々の巻線にはギャップに近いほうから“3”、“4”のように足字を付ける。一次側に換算しない二次量は“22”の足字を付ける。一次量あるいは二次量であることが明らかである場合は“1”、“2”の足字をはぶいてもよい。

(3) 推奨記号 上記の原則に基づいて推奨記号を選定したが、その中で主として推奨主記号だけを第3表に示す。同表において一つの量に二つの推奨記号を定めたものや、二つ以上の量に一つの推奨記号が対応しているものもあるが、これらは現在一般に使用されており、混同するおそれも少ないと思われるので採用されたものである。また同表に示してない主記号に対しては、誤解をまねかないように各自が適当に記号を選ぶものとする。添字のついた主記号は添字の適用例として示したもので、あらゆるものをすべて例示したのではなく、また第3表の主記号に第2表の標準足字を適用して作られる記号については自明であるので省略してある。

† 委員長 足立良夫(富士電機)、委員 伊藤文夫(電試)、石崎 彰(明電舎)、磯部直吉(電機大)、江森三郎(東芝)、加藤昌作(東京電力)、桜井泰男(日立)、関野 博(三菱電機)、松谷繁雄(電機工業会)、宮入庄太(東工大)、守田 正(安川電機)、山村 昌(東大)

\* 本稿の全文は「電気学会技術報告 第45号」に掲載されている。

第3表 推奨記号

(記号)	(量)	(記号) <sup>a</sup>	(量)
$A$	: 面積	$R$	: 抵抗, 誘導機インピーダンスの抵抗分
$a$	: 有効巻数比 (単相, 三相とも)	$r$	: 抵抗
$B$	: 磁束密度, サセブタンス	$r_x$	: 一次換算外部二次抵抗
$B_g$	: ギャップ磁束密度	$r_{2x}$	: 外部二次抵抗 (真値)
$B_t$	: 歯磁束密度	$s$	: すべり
$B_y$	: 継鉄磁束密度	$T$	: 周期, 時定数, トルク
$b$	: サセブタンス	$t$	: 時間, 温度
$C$	: 静電容量	$V$	: 印加電圧
$D$	: 直径	$v$	: 印加電圧の瞬時値
$D_o$	: 外径	$W$	: 損失
$D_i$	: 内径	$w$	: 巻数
$E$	: 誘起電圧	$X$	: リアクタンス, 誘導機インピーダンスのリアクタンス分
$e$	: 誘起電圧の瞬時値	$x$	: リアクタンス
$F$	: 起磁力	$x_{34}$	: 二重かご形の上側および下側巻線間の相互リアクタンス (一次換算値)
$f$	: 周波数	$Y$	: アドミタンス
$G$	: 重量, コンダクタンス	$y$	: アドミタンス
$g$	: コンダクタンス	$Z$	: インピーダンス, 誘導機インピーダンス
$H$	: 磁界の強さ	$z$	: インピーダンス
$I$	: 電流	$\alpha$	: 抵抗温度係数, 表面熱伝達係数
$i$	: 電流の瞬時値	$\gamma$	: 導電率
$J$	: 慣性モーメント, 電流密度	$\delta$	: ギャップの長さ, 減衰定数
$j$	: 虚数単位	$\varepsilon$	: 誘電率
$k$	: 係数	$\eta$	: 効率
$k_c$	: カーク係数	$\theta$	: 温度
$k_d$	: 分布係数	$\Lambda$	: パーミアンス
$k_p$	: 短節係数	$\mu$	: 透磁率
$k_s$	: 斜めスロット係数	$\rho$	: 抵抗率 (固有抵抗)
$k_w$	: 巻線係数	$\sigma$	: 漏れ係数
$L$	: インダクタンス	$\tau$	: 磁極ピッチ, トルク
$l$	: 長さ	$\Phi$	: 磁束
$M$	: 相互インダクタンス	$\varphi$	: 位相角
$m$	: 相数	$\omega$	: 角速度
$N$	: スロット数, 導体数などの数		
$n$	: 回転速度		
$P$	: 極数, 電力, 動力		
$p$	: 極対数, 電力, 動力の瞬時値		
$Q$	: 電気量, 熱量		
$q$	: 毎極毎相のスロット数		



UDC 621.384.6 : 615.849+620.179.152+678.05+541.15

## 工業用および医療用粒子加速装置 (要旨)\*

報 告  
36-9

## 粒子加速装置専門委員会†

本報告は粒子加速装置専門委員会が約2年にわたる調査の結果まとめたもので、内外の粒子加速装置の現状、性能、動作状態などに加えて、利用する立場からの検討などを含めた広範囲の報告である。この報告の原稿が一応まとまってから、実際に印刷になるまで約1年かかったので、その後の進歩により、内容の一部に多少付け加える必要のあるものを生じた。しかし、いままで粒子加速装置について、このような総合的な報告は内外ともに他にみあたらないので、この方面の研究者はもちろん、これから工業用、あるいは医療用などに粒子加速装置を利用しようとする人に大いに役に立つものと期待される。

内容は、大別して4章にわかれ、

- (1) 応用面から要求される粒子加速装置の性質
  - (2) どのような種類の加速器が工業用 (以下医療用を含む) として使われるか
  - (3) 外国における工業用粒子加速装置の現状
  - (4) 粒子加速装置に関する資料
- の順で報告されている。

粒子加速装置は、近年、高分子の照射、放射線化学、ラジオグラフィー、深部治療、そのほか各方面の放射線応用の線源として盛んに用いられるようになった。 $\text{Co}^{60}$ などの放射性同位体にくらべると、取り扱い上の危険も少なく、線量を加減することができ、一度に多量の製品の照射も可能になり、かつ照射コストも安くできるので、放射線応用のためには、その発達が大いに望まれている。しかし、現状ではまだまだ取り扱い上にいろいろ技術的なむずかしさがあったり、長時間安定に動作させるうえに困難があたりして問題が多い。もともと粒子加速装置は、原子核物理学などのこの方面の専門家の研究の道具として進歩してきたものであるため、広く一般の応用に使われるためにはさらにそれに適した改良が必要になる。第1章では、主としてそのような応用面から望まれる粒子加速装置の性質について、それぞれ高分子照射、放射線化学、医療、

ラジオグラフィーなどの面からの要請が述べられている。これらは専門委員のうちのそれぞれの方面の専門の人たちの調査によったもので、今後、新たに粒子加速装置を用いて、この方面の研究を行おうとする人たちにとっては、どんな装置を設置したらよいかを知ろうえの貴重な資料となろう。特に装置のエネルギー、ビーム電流などの性能に加えて、安定性、運転上の問題、可動性などのようなことまで検討されている。

第2章では、それぞれコッククロフト形、バンデグラフ形、ベータトロン、線形加速器など、現在この方面で実際に使用されている粒子加速装置について、その性能や国内における使用状況が詳しく調査されている。性能については、それぞれの装置について、(a) 到達可能なエネルギー、(b) ビーム電流、(c) エネルギースペクトル、(d) 建設および維持における技術的むずかしさ、(e) 装置の大きさ、(f) 故障の原因と稼働率、(g) 建設費、(h) 維持費、などの各項目にわけて述べられている。この部分は専門委員会がもっとも多くの時間をさいて調査してきたところで、特にこの方面のメーカーの委員の人たちの積極的な協力によって、卒直で技術的信頼のおける報告がなされている。特に建設費や維持費の概算までもしるされていることは本報告の特長でもある。さらにわが国において、工業用、医療用の目的で、すでに造られた装置の性能やメーカー、設置場所などを、各装置ごとにまとめて表にしてある。

第3章は外国における工業用粒子加速装置の使用現状を、まず放射線化学、高分子照射、医療、ラジオグラフィーの各面についてそれぞれ調査の結果を報告し、さらに各機種別に使用状況を調査報告してある。このような調査は、前二章と比較して、わが国の研究段階を知り、さらに今後の発展の動向を知ろうえに有効であろう。特に医療用としては、諸外国においてはすでに広範囲に粒子加速装置が使用されており、それらが一覧表になって示されているが、わが国での発達も当然近い将来に期待されるところである。また各機種別の調査にあたっては、外国での製品の性能やメーカーなどの調査とともに、この方面の文献の表も載せられていて、機種についてさらに詳細を知るための資料とされている。最近外国においてはダイナミトロン、ICT

† 委員長 熊谷寛夫(東大核研)、幹事 西川哲治(東大核研)、委員 穴原良司(富士電機)、今村 元(三菱原子力)、大脇健一(神戸工業)、岡村総吾(東大)、鴨川 治(東芝)、設楽昌吉(日電)、小林大二郎(通研)、斎藤清吉(日立)、塩沢 敬(日本無線)、篠原健一(理研)、和田弘(電試)、雨宮綾夫(東大)、平川浩正(原研)、江藤秀雄(放医研)

\* 本稿の全文は「電気学会技術報告 第45号」に掲載されている。

(絶縁コアトランス)など新形の機種のものも応用のための粒子加速装置として開発されつつあり、わが国でも本委員会が主となって、シリコン整流器を用いたカスケード変圧器やコッククロフト装置および直流バイアスコアを用いたパルス変圧器などの大線量放射線応用の加速装置の検討を行っている。これらの一部はすでに本報告に載せられたものもあるが、さらに新しく検討されたものもあるので、それらについてはいずれ新しい報告が行われる予定である。

最後に第4章には、実際に粒子加速装置を設置するうえに便利なようにいくつかの資料が示されている。第1はしゃへいに関する資料で、建物の設計などには欠くことのできないものである。また各種の加速器の日本名については、従来一つの装置にもいろいろな呼び方があって混乱をまねきやすかったが、本委員会でいろいろ調査しもっとも適当と認めたものを表にして

ある。そのほか放射線の線量の単位について、1956年ICRVの会議で国際的に認められた、ラド、レントゲン、キュリー、RBE、レムなどの定義を解説してある。また国内にあるサイクロトロンやシンクロトロンなどを含む広い範囲の粒子加速装置の表も加えて、工業用ばかりではなく原子核の研究などでどのようなものが開発されているかを示してある。

以上示したように、本報告は約24の表と多数のグラフや文献をおもに国の内外の粒子加速装置の使用状況、性能、その他を詳細に調査報告したものであって、今後この方面の調査資料として大いに活用されることが期待される。すでに放射線化学の研究者の間や粒子加速装置の専門家の間ではかなり利用されようとしているが、日進月歩のこの方面の研究と相まって、一つの有力な工業用粒子加速装置の手引きとなろう。

## 新鋭!! 高性能

精密恒温  
誌名記入を御照会カテログ見

# 半導体 熱処理

## 電気定温器

研究用・中間試験用・各種



室内寸法 2,000 m/m  
適各種  
温度  
60°C, 200°C  
250°C, 300°C  
350°C  
型式  
各種ファン付  
各種真空管  
リレー付  
室内  
銅板・ステン  
レス板・鉄板

ヒ写真仕様  
室内寸法 450×400×400 m/m  
定温範囲 40~60°C±1°C  
自動温度調節器付  
口窓、室内灯、温度ヒューズ付

### 大成化学機械株式会社

東京都千代田区神田美倉町四番地  
電話 (251) 8277 (代)



UDC 621.357.1.002.5 : 621.314.5/.6

## 電 気 化 学 用 変 流 装 置 調 査 報 告 (要 旨)\*

報 告

36-10

## 電 気 化 学 用 変 流 装 置 専 門 委 員 会†

電気化学用変流装置として、1952年に接触変流機、1956年にゲルマニウム整流器、そして1958年にはシリコン整流器が次々と採用されはじめた。そこで、本委員会はこれまで使用されていた変流装置も含めて大容量の電解装置に最適な変流装置の機種、容量について検討を加え、電解製品のコストダウンのために寄与することにした。

(1) 変流装置、電解設備の現状調査 まず1958年8月現在における変流装置の現状をはあくするため、比較的大電力を消費している食塩電解(42工場)、水電解(11工場)、金属電解(銅、鉛、亜鉛の17工場)、軽金属電解(アルミニウム、マグネシウムの7工場)の4業種の全工場の変流装置と電解設備を調査した。

調査表を集計すると変流装置の容量は1,175,819 kW、453台となる。このうち、回転変流機と水銀整流器とで容量において84%、台数において76%と大部分を占めている。

業種別にみると、食塩電解、水電解、軽金属電解では30%ずつの容量を占め、金属電解10%となっている。食塩電解では水銀法2、隔膜法1の割合になっている。

製作年次別に、稼動中の機種の発展の跡をふり返してみると次のようになる。1916年に製作された銅電解用の電動発電機がもっとも古い。1925年から約10年間に製作された変流装置の大部分は回転変流機である。1935~1938年は回転変流機と水銀整流器の競争時期であったが、1939年以後の約10年間は多極水銀整流器の世代とみてよい。この期間は軍需用に増設が盛んに行われ、現在稼動中の変流装置の40%以上が製作され、軽金属用の80%はこの期間に製作されたものである。しかし、1950年に単極水銀整流器、1952年に接触変流機、1956年にゲルマニウム整流器などの新しい変流装置が出現したため、機種については混乱期を迎えた感があつた。ちょうどこの時期に本委員会が発足した。当初、シリコン整流器はまだ採用され

ていなかったが、委員会における話合いの進行中、採用される件数が増してきた。このような事情で、シリコン整流器については、調査時における一断面を示すにとどめざるをえなかった。

(2) 今後の電解製品の伸びと標準電気系列 前記4業種のうち、食塩電解製品、銅、亜鉛およびアルミニウムの需用は順調に伸びるものと推定されるが、水電解は縮少され、鉛電解は横ばい状態が続くものと考えられる。マグネシウム溶融塩電解法の伸びについては見通しが困難である。

順調な伸びが期待されている電解製品の1970年における生産量を、過去の実績、1959、1960年の公表推定量、計画、需用の伸びの見通しから推定し、この値から1958年実績を差し引いて、1970年までの増産分を算出した。(第1表)

第 1 表 1970 年における推定生産量

(単位 万吨)

	食塩電解製品 (100% カセイ ソーダ換算)	電気銅	亜鉛	アルミニウム
1970年推定	106	31	30	33
1958年実績	40	12.5	14	9
増産分	66	18.5	16	24

電解製品に対する要求、技術的進歩あるいはこれらについての諸外国の情勢を考慮のうえ、この増産分をまかなうのにもっとも合理的な生産方式を定め、生産量を段階的に処理するピッチ、すなわちもっとも経済的な系列生産能力を設定し、これに要する電解そう(炉)の数、変流装置容量を計算した結果は第2表のようになった。

第2表中、変流装置容量の括弧内の値は約1.25倍のものである。計画生産量を確保するためには、電圧、電流に余裕をみておく必要があるので、この値をもって実際の設備容量とすることが適当と考えられる。一般に、電解そう(炉)数を少なくし、その代わりに電流を増し、系列電圧を下げる傾向にある。

第2表のデータより、増産分のために設備される変流装置の容量を計算すると第3表となる。

(3) 今後の電気化学用変流装置 前記現状調査によると、電動発電機、回転変流機が電解用電源として製作されることはまれになり、水銀整流器も少なく

† 委員長 山本三郎(呉羽化学)、幹事 藤岡 茂(三井金属)、斎藤 栄孝(呉羽化学)、委員 井上清二(日立)、加藤又彦(三菱電機)、神崎淳一(東芝)、中川武夫(オリジン)、水島立夫(富士電機)、平山 泰(三井金属)、吉田健雄(鶴見曹達)、沢田幸弥(日本軽金属)、若林彬人也(昭和電工)、富森 実(東京電力)、山口 寛(電力中研)

\* 本稿の全文は「電気学会技術報告 第46号」に掲載されている。

第 2 表 系列のそう（炉）数，変流装置容量

業 種	系列生産能力 (t/月)	そう(炉)数	変 流 装 置			生産方式	備 考		
			電流 (kA)	電圧 (V)	容 量 (kW)		平均そう電圧 (V)	電流効率 (%)	直流電力原単位 (kWh/t)
食 塩 電 解	1,500	38	40	180	7,200	水 銀 法 を 採 用	4.7	94	3,350
		30	50	142	7,000				
		25	60	120	7,200				
電 解	2,000	50	40	240	9,600				
		40	50	190	9,500				
		34	60	160	9,600				
銅 電 解	1,000	201	6	80	480 ( 600)		0.4	93	363
	1,500	302	"	120	720 ( 900)				
	3,000	461	8	184	1,472 (1,840)				
亜 鉛 電 解	1,000	120	10	440	4,400 (5,500)	95 % を電解 法で生産する	3.65	92	3,250
		100	12	365	" ( " )				
	1,200	144	10	526	5,260 (6,600)				
		120	12	440	5,280 ( " )				
		96	15	350	5,260 ( " )				
ア ル ミ ニ ウ ム 電 解	1,250	59	100	295	29,500(40,000)	立形炉を採用	5.0	87	17,150
	1,666	78	"	390	39,000(50,000)				
	2,080	98	"	490	49,000(60,000)				

第 3 表 変流装置の容量 (kW)

	食塩電解	銅電解	亜鉛電解	アルミニウム 電 解	計
1958 年 (現状調査)	341,520	17,520	59,540	363,560	782,140
増 加 分	252,000	9,610	70,000	600,000	931,610
1970 年 推 定	593,520	57,130	129,540	963,560	1,713,750

考とした。

いずれの業種についても，シリコン整流器のほうが有利な結果がでている。総合比較を第 5 表に示す。したがって今後の大電力用の電気化学用変流装置としては，シリコン整流器を採用することが妥当であるとの結論に到達した。

第 4 表 変流装置の経済比較のための組合せと容量

業 種	系列生産能力 (t/月)	変流装置の組合せ	変 流 装 置 容 量	電圧調整範囲 (V)
食 塩 電 解	2,000	シリコン整流器と接触変流機	9,600 kW (240 V, 40 kA)	160~240
銅 電 解	3,000	シリコン整流器とゲルマニウム整流器	2,400 kW (300 V, 8 kA)	50~300
亜 鉛 電 解	1,200	シリコン整流器と多極水銀整流器	9,000 kW (600 V, 15 kA)	300~600
アルミニウム電解	2,080	シリコン整流器と単極水銀整流器	60,000 kW (600 V, 100 kA)	20~600

なり，ゲルマニウム整流器と接触変流機が圧倒的に多くなってきている。現状調査後まもなくシリコン整流器が採用され，本委員会の終るころにはシリコン整流素子が国内でも製作され，たとえば 500 A，許容逆耐電圧 1,000 V の世界的水準の素子ができるまでに急速な進歩を示している。

第 2 表のように設定された整流装置の容量に近いもの一つを選んで，使用者側と製作者側が十分に検討を加えたうえで仕様を定め，第 4 表の組み合わせの例について，シリコン整流器とその他の変流装置との経済比較を試みた。

建設費，保守費は金額で計上することは困難なので，シリコン整流器を 100 として比較した。運転費としては，これに関係のある効率，力率をかか

第 5 表 シリコン整流器と他の変流装置との経済比較

		シリコン 整 流 器	接 触 変 流 機	ゲルマ ニウム 整 流 器	多極水銀 整 流 器	単極水銀 整 流 器
建設費	機 器 費	100	140 (シリコン 整流器を 100として) 240	110	125	171
	す べ 付 け 費	"		100	120	120
	床 面 積	"		115	150	187
運転費	効率(%)	94~97	95~96	94~96	94~96	94~95.5
	力率(%)	90~92	88	90	92	90~92
保守費	人件費 (人)	1	1~2	1	2	
	消 耗 費	100		100	50	100
	修 理 費	"		"	150	"



UDC 621.317.723.012 : 621.375.132

## 最 近 の 増 幅 形 電 位 計\*

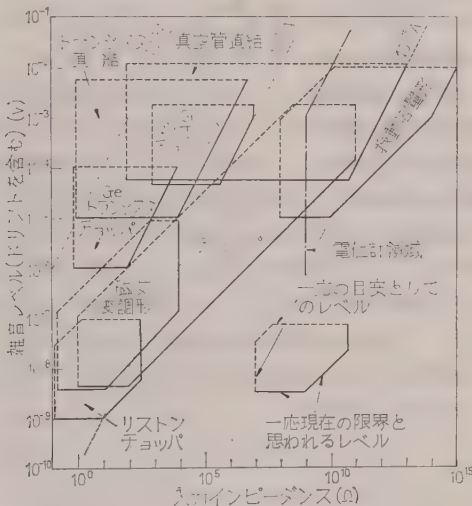
技術綜説

36-14

正員 内 海 由 春† 正員 永 田 穰††

## 1. 緒 言

高入力インピーダンスまたは電流感度がよく、微小な電荷、電位、電流などを測定するに適した直流増幅器は、増幅形の電位計として広く用いられている。いうまでもなく増幅形の電位計は pH 電位や電離電流、光電流、半導体における微小電流、ホール起電力などの測定、また各種の静電気測定に用いられ、さらに原子炉の制御を含めて自動制御関係でも、その一構成要素である直流増幅器として重要な役割を果しつつある。



第 1 図 直流増幅器の分類\*

(\*帯域幅、時間は必ずしも同一でなく、  
実用上最高性能を限界とした。)

直流増幅器を入力インピーダンスと電流感度に着目して分類すると第 1 図のようになる。いま入力インピーダンスが  $10^9 \Omega$  以上で、電流感度が  $10^{-12} \text{ A}$  より高いものを増幅形電位計と呼ぶことにすれば、真空管直結増幅器の一部、振動容量形増幅器の大部分、高入力インピーダンスチョッパ変調増幅器が一部含まれる。

最近の増幅形電位計の特徴は、従来の電位計管に改良が加えられ、格子電流の少ないサブミニチュア形電位計管の普及、振動容量形電位計の性能が高く評価され、広く用いられてきたこと、負帰還により高入力

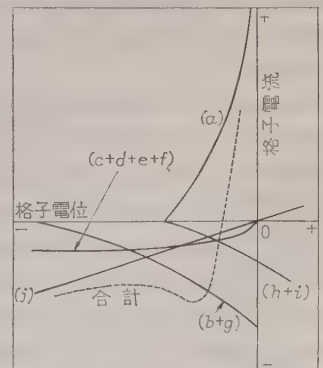
インピーダンスを得ているチョッパ変調増幅器の実用化、各種電子回路の半導体化に伴ない電位計回路も半導体化のくふうがされ始めつつあることなどであろう。

内外誌上で、直流増幅器の一部として電位計や微小電流測定についての解説もみうけられ、<sup>(1)~(4)</sup> 本誌上でも一部紹介されているが、<sup>(5)(6)</sup> 最近の増幅形電位計について回路および感度を決定する要素を中心に概説を試みたいと思う。

## 2. 電子管による電位計

(2.1) 電位計管 電位計管の最近の進歩はサブミニチュア化と、格子電流の低下である。かつての電位計管 FP-54, UX-54 などとは全く用いられていない。電位計管の性能はいうまでもなく格子電流の大きさで決まる。負電位領域における格子電流の成因は、

(a) 陰極からの熱電子の初速度分布によるもの、  
(b) 電子電流が通過する際に残留ガスが電離して生じた正イオン、(c) 陰極からの正イオン放出、(d) 陰極からの放射により加熱された格子からの熱電子放出、  
(e) 格子からの光電子放出、(f) 陽極における電子衝撃による真空紫外線および制動放射による残留ガスの電離、(g) 電子衝撃によって加熱された陽極からの正イオン放出、(h) 正イオン衝撃による格子からの二次電子放出、(i) 正イオン衝撃による陰極からの二次電子放出、(j) 電極間絶縁抵抗に基づく漏れ電流であるとされている。これらを定性的に示すと第 2 図のとおりである。



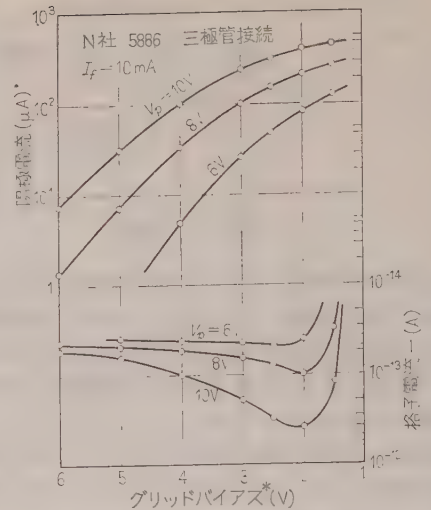
第 2 図 格子電流の構成要素

る。  
酸化物陰極 (約  $1,050^\circ \text{K}$ ) からの熱電子の初速度エネルギーは  $1 \text{ eV}$  以下であって、陰極と格子間の表面電位差を含めても  $2 \text{ V}$  以上のバイアスを与えれば (a) は無視でき

† 日立製作所那珂工場  
†† 日立製作所中央研究所

る。(b), (f), (g), (h) および (i) に対しては低い電極電圧で動作せよとよい。すなわち印加電圧を残留ガスの最低電離電圧とすれば (b) はなくなる。電子衝撃による電離は通常 10 V 程度で開始し、20~30 V にもすれば相当量に達する。当然ながら残留ガスは少ないほどよいが、真空管内の残留ガスの種類と量と、イオン電流、印加電圧などの関係はいまだ明確にされていない。陰極温度を低くすれば (a), (c), (d) に対して効果がある。この点については、陰極温度 950°K、フィラメント電力 0.1 W のとき、フィラメントから放出される正イオンは  $10^{-17}$  A 以下という報告<sup>(7)</sup> もあり、またフィラメント電力 0.25 W で  $10^{-13}$  A の正イオンが測定された例もある。<sup>(8)</sup> 空間電荷格子構造とすればこれらは全般に軽減される。(e) を除くには充分に光する必要がある、最終的には陰極からの光によって支配される。(j) は軽視されやすいが重要な問題であって、(1) 電極絶縁物へのゲッタや陰極から蒸発する Mg, Ba の付着、(2) 電極絶縁材料の絶縁抵抗、(3) パルプ表面リーケージが原因であって、(1), (2) に対しては構造および材料の選択が必要で、(3) についてはシリコンラッカ処理が効果がある。最終的には (f) 項による電離電流が限界を与えると考えられている。

電位計管はこれらの諸条件を考慮し、格子電流を抑えるため、利得を犠牲にして深いバイアスと低い陽極電圧で動作する低増幅率形の三極管、空間電荷格子形とした低増幅率の四極管およびしゃへい格子の増幅率の低い五極管が用いられている。最近のサブミニアチュア形ではフィラメント電力の低下 (代表的な CK-5886 では 0.0125 W)、真空度の改善、絶縁材料の改良がなされている。第 3 図は筆者測定した格子電流の特性例である。第 1 表に代表的サブミニアチュア形電位



第 3 図 電位計管 5886 の  $V_g$ - $I_g$ ,  $I_g$  特性

計管の特性を示す。

(2・2) 増幅回路 電位計管回路は格子電流の少ない適切な動作点を与えることと、ドリフトが少なく安定である必要がある。直結増幅のドリフトの原因は電源変動、温度変化、経年変化である。B 電源変動に対しては真空管の直線近似から算出される。<sup>(9)</sup> 室温変化およびフィラメント電圧変化に基づくぶんにについては、格子換算等価電圧を  $E_\phi$  とすると、小形受信管については、フィラメント電圧変動率  $dE_f/E_f$ 、フィラメント温度変化  $dT_K$ 、周囲温度変化  $dT_0$  に対してそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} E_\phi &\approx 1.8 dT_K \quad (\text{mV}) \\ &\approx 1,000 (dE_f/E_f) \quad (\text{mV}) \\ &\approx 0.4 dT_0 \quad (\text{mV}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

と考えてよい。<sup>(10)</sup> また回路定数の温度変化も問題であ

第 1 表 サブミニアチュア形電位計管特性一覧

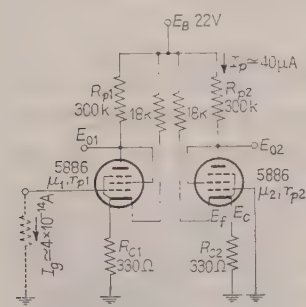
名称	フィラメント電圧 $V_f$ (V)	フィラメント電流 $I_f$ (A)	陽極電圧 $V_a$ (V)	しゃへい格子電圧 $V_s$ (V)	格子バイアス $V_g$ (V)	陽極電流 $I_a$ (μA)	相互コンダクタンス $g_m$ (μA/V)	増幅率 $\mu$	格子電流 $I_g$ (A)	
ME 1401*	1.25		9	—			80	1.7	$<1.25 \times 10^{-13}$	三極管
ME 1402*	"		4.5	4.5			100	1.0	$<5 \times 10^{-13}$	四極管
CK 5697**	0.625	0.02	12	—	-3	220	135	2.1	$<5 \times 10^{-13}$	三極管
CK 5884**	1.25	0.01	4.5	4.5	"	20	15	0.75	$<10^{-14}$	双四極管
CK 5885**	"	0.02	13.5	—	"	185	160	2.4	$<10^{-13}$	双四極管 (三極接続)
CK 5886**	"	0.01	10.5	—	"	200	"	2	$<2 \times 10^{-13}$	五極管 (三極接続)
CK 5889**	"	0.075	12	4.5	-2	5	14	$r_p=18M\Omega$	$<3 \times 10^{-13}$	五極管
5803***	"	0.01	7.5	—	-1.7	100	150		$<2 \times 10^{-14}$	三極管
			10.0	—	-2	250	200		$<3 \times 10^{-13}$	
5800***	"	"	4.5	3.4	-3	12	15		$<10^{-13}$	四極管

(注) \* Gen. Elect. 社, \*\* Raytheon 社, \*\*\* Victoreen 社



る。真空管特性の経年変化は陰極の放射特性の変化によるものであって、 $\mu$  は変わらないが、 $g_m$  が低下し、同一バイアスでは  $I_p$  と  $I_g$  はともに減少する。一般に初点火後 50 h ぐらいで大きな変化を生じ、100 h 以後はほぼ安定する。

実際問題として電位計管が高価であり、1本の真空管を電源変動に対していかに安定に動作させるかは大きな問題であった。すなわち Dubridge,<sup>(11)</sup> Barth,<sup>(12)</sup> 阿部<sup>(13)</sup> 氏らの回路のくふうがあるが、最近では比較的安価であることと特性のばらつきも少ないことから、電源変動に対して有利な平衡増幅回路が一般に用いられている。電位計管はほとんどが直熱形であり、フィラメント電源は B



第 4 図 電位計管平衡増幅回路

出力を差動で取り出すときの入力換算ドリフト  $\Delta E_i$  は次式から求められる。

$$\Delta E_i = \delta r_p \cdot \Delta E_B / \mu_1 R_p + \delta E_\phi \cdot \Delta E_B / E_B + \delta \mu \cdot E_c \cdot \Delta E_B / E_B \cdot \mu_1 \dots (2)$$

ただし、ここで

$$\left. \begin{aligned} \delta r_p &= r_{p1} - r_{p2}, & \delta \mu &= \mu_1 - \mu_2 \\ \delta E_\phi &= E_{\phi 1} - E_{\phi 2}, \\ (1 + \mu_1) R_{o1} &\ll r_{p1}, & (1 + \mu_2) R_{o2} &\ll r_{p2} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

$$R_p = R_{p1} = R_{p2}, \quad r_{p1} \text{ または } r_{p2} \ll R_p$$

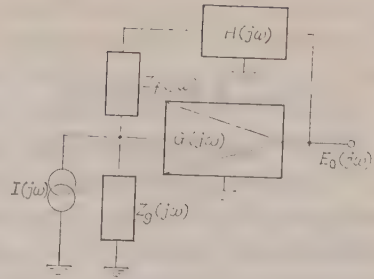
として近似してある。(2) 式第 1 項は陽極電圧、第 2 項はフィラメント電圧、第 3 項はバイアス電圧のそれぞれの変化に基づくものである。いま第 3 図の特性の電位計管を使用するものとする、 $\mu=2$ 、 $r_p=30 \text{ k}\Omega$  となり、 $\mu$ 、 $r_p$ 、 $E_\phi$  のばらつきをそれぞれ 20% とすると、 $\Delta E_B/E_B=10^{-3}$  に対するドリフトは

$$\Delta E_i = 0.2 \pm 0.2 \pm 0.6 \text{ (mV)} \dots (4)$$

となる。

電位計管回路は電池電源のほかエリミネータ電源を用いるが、電子管式安定電源の安定度を充分よくする必要があり、これは前式から目安を得るのである。

電位計回路は帰還形の増幅器として使用される場合が多い。第 5 図は一般の帰還形微小電流測定回路の構



第 5 図 帰還形電流増幅回路構成図

成図であるが、帰還抵抗を大すると過渡応答時間が長くなりやすく、これを改善するために補償回路がしばしば用いられる。<sup>(14)(15)</sup> 第 5 図で入力電流  $I(j\omega)$  と出力電圧  $E_o(j\omega)$  の比、すなわち伝達インピーダンス  $Z_t(j\omega)$  は

$$\begin{aligned} Z_t(j\omega) &= \frac{E_o(j\omega)}{I(j\omega)} \\ &= 1 + \frac{-Z_f(j\omega)G(j\omega)}{Z_f(j\omega)Z_g(j\omega)} + G(j\omega)H(j\omega) \dots (5) \end{aligned}$$

となる。もし

$$1 + Z_f(j\omega)/Z_g(j\omega) \ll G(j\omega)H(j\omega) \dots (6)$$

が満足されるならば

$$Z_t(j\omega) \approx -Z_f(j\omega)/H(j\omega) \dots (7)$$

で近似される。通常  $Z_f(j\omega)$  は高抵抗と並列容量とからなり、電流感度を上げるために抵抗値を大すると、並列容量によるレスポンスの限界を生じる。かりに抵抗値を  $10^{12}\Omega$ 、並列容量は軽減に留意しても最低  $0.1 \sim 0.4 \text{ pF}$  はあり、時定数は  $0.1 \sim 0.4 \text{ s}$  となる。(7) 式で  $H(j\omega)$  に適当な遅れ補償回路を用いると、帯域幅を広げたり、適当なダンピングを与えることができる。このことは (6) 式が成立しない場合でもよいが、この場合には適切な応答を与えるに要する  $H(j\omega)$  は  $G(j\omega)$  の関数となる。以上は電位計管による増幅回路だけでなく、次章に述べる振動容量形回路にも同様に適用される。

(2.3) 電位計管回路の雑音限界 電位計管による測定限界はいうまでもなく格子電流、ドリフトおよび入力回路熱雑音で決まる。このほかにフリッカ雑音は格子の接地インピーダンスに無関係であるから、入力回路に並列容量のある場合には同一帯域幅をもつものとすれば、等価的に大きな雑音電流となるので注意を要する。フリッカ雑音を除く他の真空管雑音は、電位計回路では入力回路接地インピーダンスの実数部が等価雑音抵抗に比べ普通充分大であるので無視できる。

過渡応答時間を問題としない場合の実用上の測定限

界は、ドリフト 1 mV/h, 測定抵抗  $10^{12}\Omega$  とすれば  $10^{-15}\text{A}$  と考えてよい。

### 3. 振動容量形電位計

(3.1) 原理 振動容量形電位計は本来、表面電位計として Zisman 氏<sup>(16)</sup>により考案されたものであるが、Palevsky 氏ら<sup>(17)(18)</sup>の研究によって、その全貌がほぼ明らかにされ、高入力インピーダンスの直交変換形直流増幅器として実用化された。第6図の基本変調回路において振動容量  $C_v(t)$  を

$$C_v(t) = C_0 + C_1 \sin \omega_0 t \quad (8)$$

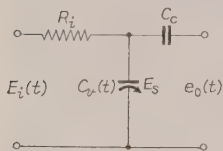
とするならば、変調出力  $e_0(t)$  は定常状態において

$$\left. \begin{aligned} e_0(t) = & \{ E_i(t) + E_s \} \left\{ \frac{\omega T}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \frac{C_1}{C_0} \right. \\ & \times \sin(\omega t + \phi_1) \\ & + \frac{\omega^2 T^2}{\sqrt{(1 + \omega^2 T^2)(1 + 4\omega^2 T^2)}} \left( \frac{C_1}{C_0} \right)^2 \\ & \times \sin(2\omega t + \phi_2) + \dots \} \\ \phi_1 = & \tan^{-1}(1/\omega T_0) \\ \phi_2 = & \tan^{-1}(1/\omega T_0) - \tan^{-1}(1/2 T_0) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

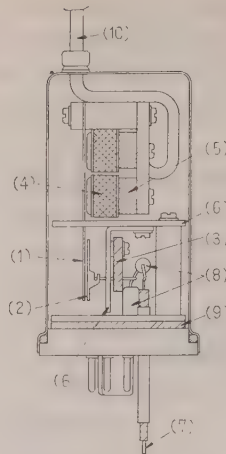
と表わされる。ただし、ここで  $E_i(t)$  は入力電圧でその周波数成分は  $\omega_0$  および  $1/R_i C_0$  にくらべ充分低いものとする。 $E_s$  は振動容量の表面電位差、 $T = R_i C_0$  である。 $C_1/C_0$  を励振率、入力電圧と変調出力電圧のそれぞれの変化分の比を変調効率  $\eta$  で表す。この変調回路が機械的チョップの場合と本質的に異なる点は無接触であることのほかに、信号源からの電気エネルギーをほとんど要しない

ことであり、本来高入力抵抗であり振動容量の絶縁抵抗、すなわち  $10^{15}\Omega$  程度に高めることができることである。

(3.2) 振動容量の機械的構造 振動容量は高インピーダンス回路に接続して静電的に変調を行うものであるから、励振回路からの誘導、振動電極近傍の不安定電界を充分除去するとともに、後述のように直流増幅器としてのドリフトの原因である表面電位差を極力一定に保ちうるよう密閉された構造とするのが普通である。第7図は商用電源周波数変調用振動容量の内部構造例である。第8図に外観写真を示す。この例はバイプレーティングリード形であるが、ダイヤフラム形、音さ形などがある。励振回路からの誘導は適当な



第6図 基本変調回路



第7図 振動容量の構造例 (内部)

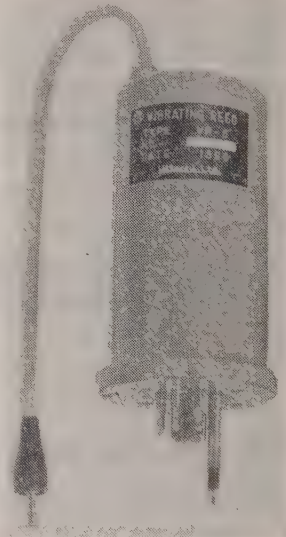
静電しゃへいを施し、漏れ磁界の少ない励振磁気回路を用いて、実用上ほとんど支障のない値に低減できる。第7図の例では変調出力端子で  $10\mu\text{V}$  以下である。高性能を目標に設計した振動容量では誘導はほとんど認められない。誘導と見誤られやすいものに残留電圧があるが、これについては雑音限界の項でふれる。

振動容量の動作は前述のように、静電的なものであるから電極の近傍に電界を乱す物体があればその影響をうける。これを第3電極効果といっている。<sup>(19)</sup>

特に第3物体の表面が不良導体であるもの、

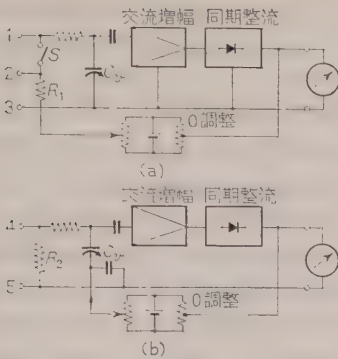
絶縁物、絶縁されて浮いている導体などがあれば、これらの電位は不安定であることから、ドリフトや変調波形の乱れとなって現われる。こうした不安定電位を除去するとともに、振動容量を形成している電極近傍に空間をつくり、かつ純金めっきを施した表面が安定で、電極と表面電位の近い値のものでしゃへいするのが適当である。他方、励振率  $C_1/C_0$  を大きくするようくふうする必要がある、図の例では振動容量単体で  $C_0 \approx 30\text{pF}$ 、励振率  $0.3 \sim 0.4$  程度である。

(3.3) 振動容量形電位計回路 大きなループ利得



第8図 振動容量の構造例 (外観)





第 9 図 振動容量形電位計の  
二つの帰還形式

$C_0$  に連なる端子 1 にかける。 $S$  を開放して端子 1, 2 間よりみた入力インピーダンス  $Z_{i1}(j\omega)$  は

$$Z_{i1}(j\omega) = R_1 + Z_0(j\omega) \quad (10)$$

となる。ただし  $Z_0(j\omega)$  は  $S$  開放時の端子 1 の接地インピーダンスである。 $Z_{i1}(j\omega)$  は  $\omega \rightarrow 0$  に対して充分高インピーダンスとなる。この回路では接地から浮かすことができ、信号源インピーダンス  $Z_s(j\omega)$  が

$$|Z_s(j\omega)| \ll |Z_{i1}(j\omega)| \quad (11)$$

である電圧の測定につごうがよい。この条件が満足されるならば伝達関数  $G(j\omega)$  は

$$G(j\omega) = \frac{E_0(j\omega)}{E_s(j\omega)} = \frac{G_1(j\omega)}{1 + G_1(j\omega)H_1(j\omega)} \quad (12)$$

ただし、 $G_1(j\omega)$  は変復調を含めて端子 1, 3 から出力までの伝達関数、 $H_1(j\omega)$  は次式で与えられる。

$$H_1(j\omega) = Z_0(j\omega) / \{R_1 + Z_0(j\omega)\} \quad (13)$$

$S$  を閉じて、端子 1, 3 よりみた入力インピーダンス  $Z_{i2}(j\omega)$  は

$$Z_{i2}(j\omega) \approx R_1 / G_1(j\omega) \quad (14)$$

となり、高信号源インピーダンスの電流測定に用いられる。その伝達インピーダンス  $Z_t(j\omega)$  はすでに (5), (7) 両式に示したとおりである。

(b) 図の回路では 帰還は 振動容量の 接地側にかける。したがって入出力は同相となるが、(a) 図の帰還形式では互に逆相である。入力インピーダンス  $Z_{i3}(j\omega)$  は

$$Z_{i3}(j\omega) = \frac{Z_0'(j\omega)}{[Z_0'(j\omega) / \{1 + G_1(j\omega)\} j\omega C_0] + 1} \approx Z_0'(j\omega) \quad (15)$$

ただし、

$$Z_0'(j\omega) / \{1 + G_1(j\omega)\} j\omega C_0 \ll 1 \quad (16)$$

ここで、 $Z_0'(j\omega)$  :  $C_0$  を除いた端子 1 の接地

を有する帰還増幅器として使用するのが常である。帰還の形式により第 9 図 (a), (b) に大別される。<sup>(20)</sup> (a) では帰還電圧は測定抵抗  $R_1$  およびスイッチ  $S$  を経て振動容量

インピーダンス、 $C_0$  : (8) 式で与えられる振動容量の振動中心容量\*

$Z_{i3}(j\omega)$  は  $Z_{i1}(j\omega)$  と  $Z_{i2}(j\omega)$  の中間の値をとり、直流入力抵抗は入力端子や  $C_0$  の絶縁で決まる。この回路は応答時間をあまり問題としない電圧、電流の測定に用いられ、後者の場合には測定抵抗  $R_2$  を用いる。

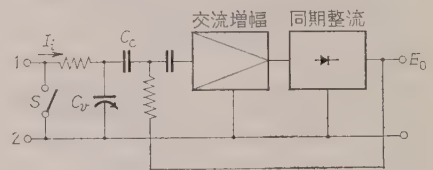
第 9 図 (a) の  $R_1$ , (b) の  $R_2$  の代わりに容量  $C_1$  を用いる微小電流測定法を Rate of Charge 法という。(a) 回路における伝達インピーダンス  $Z_t(j\omega)$  は

$$Z_t(j\omega) \approx -1/j\omega C_1 \quad (17)$$

となり積分動作を行う。最初スイッチを用いて  $C_1$  を短絡し、電荷を零としてから開放し、入力電流による  $C_1$  両端の電圧変化を測定する。出力電圧  $E_0(t)$  は

$$E_0(t) = -\frac{1}{C_1} \int_0^t I_i dt \quad (18)$$

となる。(b) 回路の  $R_2$  をそのまま  $C$  で置き換える回路のほかには第 10 図の接続も用いられる。この回路



第 10 図 Rate of Charge 法による測定回路

では等価入力容量は  $C_0$  にほぼ等しい。 $S$  を開いたときの入力、回路の全電荷  $Q_i$  と  $E_0$  の関係は

$$E_0 = Q_i / \left\{ \frac{C_0}{G} + \frac{C_0(G+1)}{G} \right\} \approx \frac{Q_i}{C_0} \quad (19)$$

となる。ここで  $G$  は変復調を含めた利得である。したがって入力電流の瞬時値  $I_i$  は

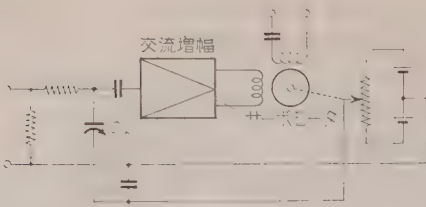
$$I_i = dQ_i/dt \approx C_0(dE_0/dt) \quad (20)$$

となる。数値例として  $C_0 = 10$  pF, 積分時間 1 min, 検出電圧 100  $\mu$ V とすれば、 $1.7 \times 10^{-16}$  A が測定できる。この測定法の難点は高性能形といわれるものでも  $10^{-17} \sim 10^{-16}$  A 程度の雑音電流により指示が不安定になること、連続測定が困難なことである。

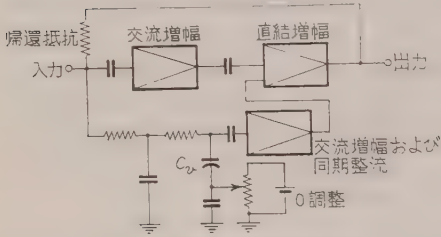
振動容量形直流増幅器は第 11 図のように自動平衡形サーボ増幅器としても用いられる。振動容量の駆動周波数が電源周波数ならば、同期整流はサーボモータで兼ねることで決まるし、同期整流した直流出力で直流サーボモータを駆動してもよい。

振動容量形増幅器は変調増幅器であるから、おのずから信号帯域幅の制約を受ける。特に商用周波変調形

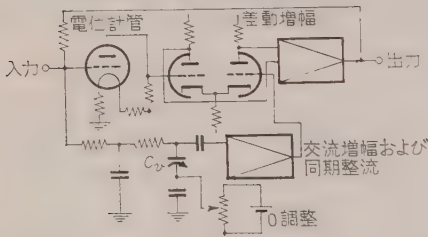
\* 振動電極静止時の容量とは異なる。電極の振動振幅大となるほど  $C_0$  も大となる。



第 11 図 自動平衡形電位計



(a) 並列複合形微小電流増幅回路



(b) 直列複合形微小電流増幅回路

第 12 図 複合形電位計回路

では普通 5 c/s 程度までと考えてよい。これを克復するために、直結または交流増幅回路と組み合わせて、複合形の電位計<sup>(21)</sup>を作ることができる。(第 12 図) この手法はアナログ計算機の演算増幅器などに広く用いられているものと原理的には同一である。

(3・4) 振動容量形電位計の雑音限界<sup>(17)</sup> 広い意味での雑音はドリフトと、いわゆる出力のゆらぎである。前者はおもに振動容量の表面電位差の時間的变化によるものであり、後者は適切な回路設計をすれば入力回路の熱雑音で決まる。<sup>(22)</sup>

電極の表面電位差の時間的变化は、電極面の外来表面電位 (Extrinsic surface potential) の変化に基づくもので、これは表面の酸化などによる外部表面電位とガス吸着などによる内部表面電位とに分けて考えられている。<sup>(23)</sup>

変調器としての振動容量は表面電位差を極力一定に保つために、たとえば電極表面を 24 K の Au めっき、あるいはさらに Au 蒸着を施して酸化を防いでいるから、表面電位の変動は内部表面電位をいかに一定に保つかによる。すなわちイオン、原子あるいは分子

吸着による電気二重層の変化が表面電位の変動をまねくと考えられる。ゆえに純金めっき電極でもその後の洗浄処理法、電極のおかれているふんい気のいかに大きく関係する。実用上もっとも望ましいのは、最終的に Au 蒸着を施し空気などにふれることなく不活性ガス中に封入することであるとされている。

温度変化による表面電位差の変化は、電極表面が完全に清浄であれば、両電極金属の仕事関数の温度係数の差による。ゆえに同一金属を用いているので、合成温度係数はきわめて小さい。実験的に生ずる温度変化によるドリフトはこの値より大であって、このような増加は電気二重層の変化と考えられ、一定温度変化を与えたのちでも、ドリフトが若干継続する場合もある。

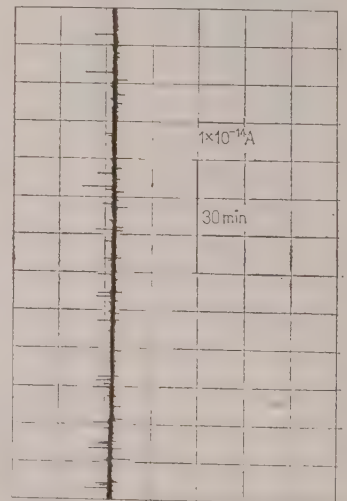
以上のようにして得られたドリフトの最良値は 100  $\mu\text{V}/24\text{h}$  以内、<sup>(17)</sup> 500  $\mu\text{V}/\text{月}$  以内<sup>(24)</sup> で、表面電位差の絶対値は 20 mV<sup>(17)</sup> 以下である。

表面電位差に基づく電圧オフセットを打ち消すために、補償電圧を加えた場合、残留電圧を生ずる。この電圧は第 3 電極効果や誘導のほかは表面電位差分布の影響によって<sup>(25)</sup> 特に第二調波の多い残留電圧を生ずる。これを少なくするのは最終的に電極表面処理の問題である。

振動容量形増幅器出力のゆらぎは、変調回路の熱雑音および初段真空管雑音に基づく。しかし振動容量変調回路は本来高インピーダンスであるから、適当な回路設計のもとでは真空管雑音は無視でき、また変調回路定数も解析の結果<sup>(25)</sup> に基づいて適切な値を選択すれば最良の SN 比が得られる。

振動容量形電位計では電流感度を高めた場合、振動

容量電極および入力回路材料の自然放射計数 (ほとんど  $\alpha$  コンタミネーション) による近傍の気体の電離によって、パルス状の雑音電流が発生する場合がある。第 13 図は筆者らによる雑音レベル  $1 \times 10^{-15}\text{A}$ , 98% インディシャルレスポンズ電位計自身の自



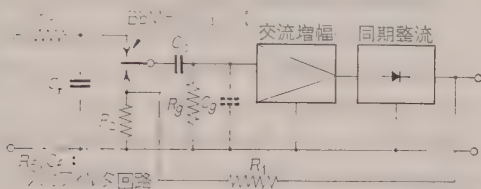
第 13 図 自然計数によるパルス雑音



然計数による雑音の測定例であって、1 h あたり 10～20 個のパルスが観測されている。

#### 4. チョッパ変調増幅形電位計<sup>(26)(27)</sup>

チョッパは機械的断続装置であるから、入力信号の On-Off 作用だけであって、電気エネルギーを発生しない。したがって信号源からはほとんど電流をとらない高入力インピーダンス回路を実現するには、(1) 直流帰還を充分かけ、(2) 変調信号に対しては入力インピーダンスの高い増幅器を接続する必要がある。第



第 14 図 高入力インピーダンス  
チョッパ増幅器

14 図に構成図を示す。このときの入力抵抗  $R_i$  は

$$R_i \approx (1 + A\beta) / (C_g f_o + 1/4 R_g) \dots\dots\dots (21)$$

ここに、 $2\pi f_o R_g C_g \gg 1$ ,  $\beta = R_2 / (R_1 + R_2)$

$A$ : 直流利得,  $f_o$ : チョッパ断続周波数,

$C_g$ : 交流増幅入力容量

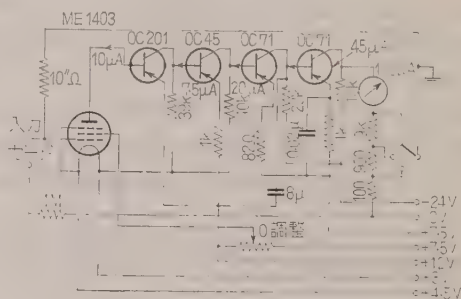
すなわち、 $C_g$  が大であればチョッパ接点が信号側に接続するごとに  $C_g$  が充電され、帰還側へ接続したときこの電荷を失うことになり、入力電流は増大する。限界は  $(1 + A\beta) 4 R_g$  であって、 $A\beta$  は通常入出力間の結合のために 60～70 dB 以上とすることは困難であるから、 $R_g$  を数百メガオーム、 $C_g$  を数ピコファラドとしても  $R_i$  の実用上の限界は  $10^{12}\Omega$  以下とみるべきであろう。雑音限界は熱雑音のほかはチョッパ断続による異常雑音を生ずることによる。この異常雑音は接点の表面電位、絶縁物の圧電効果、静電界などによるとされているが現在のところ完全に明確にはされていない。使用するチョッパとしては BbM (Break before make) 形を使用する必要がある。

数値例を示すと、Nielsen 氏<sup>(26)</sup>によれば、入力抵抗  $3 \times 10^9 \Omega$ , 50 M $\Omega$  で入力短絡のとき 12 h ドリフトは約 30  $\mu V$ , 雑音は 10  $\mu V$  (ピークピーク値) 程度である。また国内では入力抵抗  $2 \times 10^{11} \Omega$  以上、 $2 \times 10^8 \Omega$  で入力を短絡したときドリフト 500  $\mu V/h$  以下、雑音レベル 500  $\mu V$  (ピークピーク値) 以下が得られているが、<sup>(28)</sup>これらの数値はほぼチョッパによる場合の限界と考えてよい。

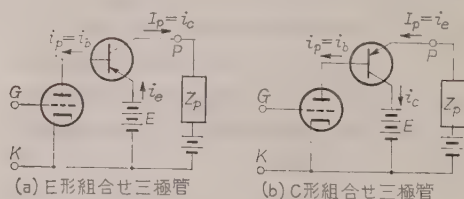
#### 5. 電位計回路の半導体化

電位計回路は本来高入力インピーダンスであって、完全な半導体化は決して容易でないが、二つの方向から検討が進められている。

一つは初段に真空管を用い次段以後にトランジスタを組み合わせたものであって、第 15 図に実例<sup>(29)</sup>を示す。こうした回路では接続されるトランジスタのベ



第 15 図 トランジスタを組み合わせた電位計



第 16 図 トランジスタとの組合せ方式

ースインピーダンスは高く、定電流源とみなされる。したがって温度変化により  $I_{so}$  が大幅に変化する Ge トランジスタは不適当である。第 16 図の例では  $\beta \approx 20$  の PNP 形 Si トランジスタを用い、1°C の温度変化はベース入力換算で  $10^{-9} A$  のけたの変化を与える。使用している電位計管の  $g_m$  はほぼ 10  $\mu V$  であるから、入力換算 0.1 mV/°C に相当する。Si トランジスタ以後の段は Ge のものを用いており、この段の 20°C におけるベース換算ドリフトは 0.05  $\mu A/^\circ C$ , 電位計管入力に換算すると  $-0.2$  mV/°C と報じている。電源にはすべて電池を使用し、増幅器全体としての温度係数は 1 mV/°C, 実験室内で 0.25 mV/h のドリフトが得られており、電流としては最高  $10^{-15} A$  が検出可能である。

このような組合せ回路は一つの等価三極管<sup>(30)</sup>とみ

第 2 表 トランジスタ組合せ方式の等価三極管定数

等価増幅率 $M$	$\approx \mu h_{21e} / h_{22r} r_p$	$\approx \mu / h_{12e}$
等価相互コンダクタンス $G_m$	$\approx h_{21e} g_m$	$\approx h_{21e} g_m$
出力インピーダンス	高 い	低 い
極 性	反転しない	反転する

ることができ、第 16 図のような 2 種の結合法が考えられ、等価定数として第 2 表のような値が得られる。またこうした目的に傍熱形で、ヒータ電圧がトランジスタ回路に用いるのに適当になっており、しかも平衡形回路につごうよく  $\mu$  平衡度のよい双三極管が開発されている。<sup>(31)</sup> 特性を第 3 表に示す。

他方、半導体回路だけによる微小電流の測定は、Si ダイオードの遷移域容量の電圧依存性を利用したいいわゆる Variable capacitance diode によるブリッジ変調回路を用いて  $5 \times 10^{-16} \text{W}$ 、電流にして  $10^{-11} \text{A}$  の検出ができたことが報告されている。<sup>(32)</sup> 第 17 図に原理図を示す。逆バイアス状態での PN 接合部のキャリア密度は印加電圧とともに減少し、空乏層の厚さが増加する。この接合部の容量  $C_T$  は階段状接合を考えると

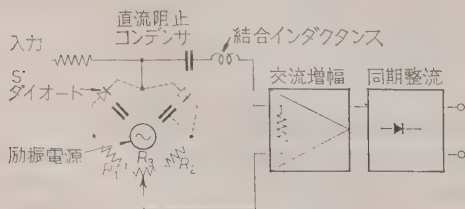
第 3 表 25 R-LL 4 の特性

ヒータ電圧 (並列) (直列) (V)	ヒータ電流 (並列) (直列) (mA)	陽極電圧 (V)	グリッド バイアス (V)	陽極電流 ( $\mu\text{A}$ )	相互コンダク タンス ( $\mu\text{S}$ )	増幅率	増幅率 平衡度 $\Delta\mu$	格子電流
12.5 25.0	40 80	20	-1.5	20	60	11	<1	<1 $\times 10^{-10}$

$$C_T = F/\sqrt{V+V_0}, \quad F = KA_1/\epsilon/\rho \quad \dots (22)$$

ここで  $K$ : 定数,  $A$ : 接合面積,  $\epsilon$ : 誘電率,  
 $\rho$ : N 形領域の体積固有抵抗,  $V_0$ : Si 接合電  
 位,  $V$ : 外部印加電圧

で表わされる。すなわち  $C_T \propto (V+V_0)^{-1/2}$  となる。このダイオードによりブリッジ回路を構成し、入力信号によって平衡がくずれ変調出力が得られる。この方式の特徴は、(1) 変調回路にインピーダンス変換作用があるので、次段に低入力インピーダンスのトランジスタ増幅器を接続しても、入力換算で高電流感度に行ける、(2) 逆バイアス状態で使用する ( $V=0$  でも接合部電位差としては  $V_0$  分だけ負である) ので正方向電流が流れず雑音レベルが低い、(3) 入力インピーダンスが高く  $10^6 \sim 10^9 \Omega$  が実現できる、ことである。しかし現在までに得られている性能は真空管または振動容量形の電位計にくらべ入力インピーダンス、電流感度ともに数けたも低い値であって、全部半導体化した高感度電位計が可能かどうかは、Si ダイオードなどの非



第 17 図 Variable capacitor diode  
による変調増幅回路

直線容量素子材料の今後の発達にかかる問題である。

## 6. 結 言

各種増幅形電位計について、回路方式、感度限界などを中心に述べた。電位計管によるものは真空管の特殊性以外はドリフトなど直結真空管増幅器としての問題である。振動容量形は最初分類にも示したように、一応測定限界と思われる高感度のものが得られているが、とかく実験室向きであって、工業用などの目的には使用条件に対しては充分な対策が望ましい。チョッパ変調増幅によるものは入力抵抗  $10^{12} \Omega$  が限度であり、異常雑音により雑音レベルが高くなる欠点がある。電位計回路の半導体化は、高感度というよりはむしろ小形、高信頼性という点で期待できよう。

本稿を終るにあたり、表面電位差についてご指導賜った東京大学古賀正三教授に感謝申し上げる。また日ごろ懇篤なるご指導、ごべんたつをいただく日立

中研只野文哉博士、阿部善右衛門博士、日立那珂工場牧野部長、大沼課長に深く謝意を表する。

## 文 献

- (1) J. Yarwood: Electronic Engng **27**, 14 (1954); 64 (1954); 114 (1954)
- (2) M. W. Jervis: Electronic Engng **27**, 100 (1954)
- (3) H. Böhm: Arch. tech. Messen Lief. 283, 169 (1959), Lief. 285, 217 (1959)
- (4) 阿部: 自動制御 **5**, 78, 136 (昭33)
- (5) 石川: 電学誌 **65**, 74 (昭 20)
- (6) 宇都宮: 電学誌 **77**, 960 (昭 32)
- (7) G. W. Warren: G. E. C. J. **6**, 118 (1935)
- (8) G. F. Metcalf: Phys. Rev. **36**, 1489 (1930)
- (9) 永田・阿部: 電学誌 **80**, 736 (昭 35)
- (10) 松尾: 昭 31 通信学会全国大会 175
- (11) L. A. Dubridge: Rev. sci. Instrum. **4**, 532 (1933)
- (12) G. Barth: Z. f. Phys. **87**, 399 (1934)
- (13) 阿部・桜井: 昭 29 東京支部連大 605
- (14) I. Pelchowitch: Rev. sci. Instrum. **23**, 73 (1952)
- (15) 矢板: 電試集 **17**, 591 (昭 28)
- (16) W. A. Zisman: Rev. sci. Instrum. **3**, 367 (1932)
- (17) H. Palevsky: Rev. sci. Instrum. **18**, 298 (1947)
- (18) S. A. Sherbatskoy: Rev. sci. Instrum. **18**, 415 (1947)
- (19) 小川: 応物誌 **19**, 189 (昭 25)
- (20) 阿部: 放射線計測委資料 (昭 32-10)
- (21) 内海・半田・阿部: 昭 36 連大 144
- (22) 内海・阿部: 昭 35 電気学会東京支部大会 25
- (23) 古賀: 物理学会分科会予稿 (昭 25)
- (24) H. Reese: Nucleonics **8**, 40 (1950-3)
- (25) 内海・阿部: 昭 35 連大 234
- (26) S. O. Nielsen: J. sci. Instrum. **31**, 401 (1954)
- (27) 阿部: 電子技術 **1**, 17 (昭 34)
- (28) 安井: 東亜ニュース No. 63, 1 (昭 34)
- (29) J. H. Leck: Electronic Engng **32**, 106 (1960)
- (30) 永田・阿部: 昭 34 通信学会全国大会 368
- (31) 村田: 電子計測 No. 10, 59 (昭 35)
- (32) R. R. Hodge: IRE International Convention Record Pt. 9, 34 (1960)



## 学 界 時 報

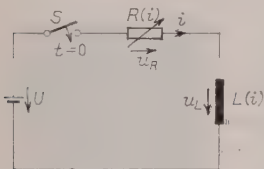
- |          |                |                |
|----------|----------------|----------------|
| 1. 教育・研究 | 2. 電気物理および回路理論 | 3. 電気測定        |
| 4. 電子装置  | 5. 電子回路        | 6. 電気機器        |
| 7. 電力    | 8. 電気鉄道        | 10. 電気通信       |
| 11. 電気材料 | 12. 電力応用       | 13. 自動制御および計算機 |
| 14. 原子力  | 15. 雑          |                |

### 2・434. 非線形抵抗および非線形 インダクタンスのある直流 回路の過渡現象

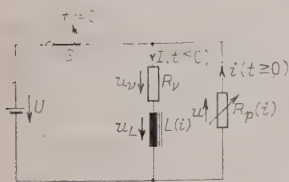
Walter Böning: Schaltvorgänge in Gleichstromkreisen mit nichtlinearem Widerstand und nichtlinearer Induktivität. [Arch. Elektrotech., 46. Band, 2. Heft, 1961, S. 103~124]

非線形の回路の解析は、基本的な簡単な場合を除いては一般に非常に困難である。回路の解析は多くの場合図式あるいは数値計算で近似的に求めたり、また計算機械を用いている。

本論文では非線形の抵抗と、非線形のインダクタンスとを適当な数式で表わして、微分方程式を解析して直流回路の開閉時の過渡現象を求め、またオシログラフによる実測例と比較している。



第 1 図 鉄心をもったコイルと非線形抵抗の直列回路に直流電源を接続した場合



第 2 図 鉄心をもったコイルと非線形の並列抵抗の回路を開いた場合

形の抵抗による電圧降下を

$$u_R = k i^\beta$$

また、非線形のインダクタンス中の磁束を

$$\phi_b = \tan^{-1} \frac{i}{i_b}$$

と置いて回路を解析している。また、インダクタンス

にヒステリシスがある場合には

$$\frac{\phi_b}{i_b} = \tan^{-1} \frac{i}{i_b}$$

と表わしている。 $\phi_b$  と  $i_b$  はインダクタンスの特性によって決まる定数で、特性曲線の二つの測定点から求める。<sup>\*</sup>

第 1 図の回路でも、第 2 図の回路でも

- (1) 非線形インダクタンスと線形抵抗
- (2) 非線形抵抗と線形インダクタンス
- (3) 非線形抵抗と非線形インダクタンス

の三つの組み合わせについて回路方程式を解き、オシログラフによる実測例と比較している。

実測例は一つの回路構成について 1 種類であるが、第 1 図の回路では計算値と実測値との差は 10 % から 16 % 程度であり、第 2 図の回路では 7 % から 12 % 程度であった。

<sup>\*</sup> 訳者注：このインダクタンス中の電流と磁束との関係の近似式は同著者が、Arch. Elektrotech. 45, 265 (1960) に詳述してある。

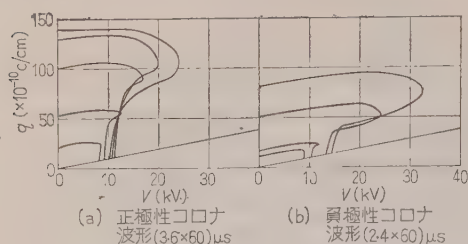
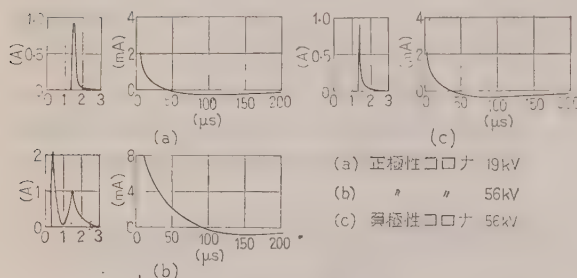
(平本委員、有富 弘訳)

### 2・435. サージコロナ放電

R. Davis & R. W. E. Cook: The Surge Corona Discharge. [Proc. Instn Elect. Eng., Vol. 108, No. 13, Pt. C, March, 1961, p. 230~239]

コロナ放電をもっと系統立てて研究する目的で、同心円筒電極を用いて実験し、印加電圧に対して一つの外部回路の Charge flow を求め、この結果からコロナ電流とエネルギー損を誘導している。さらに気体中の電氣的破壊の機構について近代的な見地にたつて、これらの観察を説明しようとしている。そして最後に送電線のサージのコロナによる減衰の問題が付録で考察されている。

この研究に用いた同心円筒電極は外側電極の半径が 8.25 cm で、内側は 0.028 cm で有効長は 90 cm である。この外側電極は測定用コンデンサを通してアースにつながれ、サージ電圧は内側電極とアース間に印加した。その電圧波形は波頭長が 1.6~10  $\mu$ s で波尾長が約 50  $\mu$ s のものである。そこでこの測定用コンデンサの両端の電圧はこの電極の外部回路中の Charge

第 1 図  $q-v$  曲線

第 2 図 コロナ電流の代表例

flow に比例するので、これをオシログラフの一組の偏向板に導き、この偏向板と直角に置かれたもう一組の偏向板に試験電圧の一部分を印加するようにした。かくして電極間の電圧と外部回路中の Charge flow との関係曲線を描かせ、また、この電圧と時間の関係曲線も得ることができた。そこでこの二つの曲線から Charge と時間との関係が求まり、これによってコロナ電流が求められた。この電圧  $v$  と Charge flow  $q$  との曲線の一例を第 1 図に示す。ここで、コロナによる損失  $w$  は次式から求められる。

$$w = \int_0^q v dq - \frac{1}{2} C v^2$$

なお  $C$  は電極 1cm の長さに対する電極間容量であり、 $\int_0^q v dq$  は  $v$  と  $q$  との関係曲線と  $q$  軸との間の面積である。また、電流-時間曲線の一例を第 2 図に示す。この第 2 図からわかるようにコロナ電流は持続時間の短い高電流期と持続時間の長い低電流期とがある。そしてこの低電流期の途中から電流の極性が反転している。以下これらの実験結果を放電に関するタウンゼントならびにストリーマの理論を用いて解析しているが、同心円筒電極の電界は平等電界ではないので、実測値と計算値とが一致しないことを述べている。

(原田委員, 伊丹敏郎訳)

## 2.436. プラズマ中の二つの電子の 相関関数の解

Burton D. Fried & H. W. Wyld, Jr.:  
Solution for the Two-Electron Correlation  
Function in a Plasma. [Phys. Rev., Vol.  
122, No. 1, April 1, 1961, p. 1~8]

プラズマについての Vlasov の方程式すなわち衝突の項を無視したボルツマンの方程式は、ここ数年来プラズマ振動、波動の運動または不安定性などを含む問題と関連して特に注目されてきた。Rosenbluth や Rostoker その他の研究から、この公式表示は厳密な運動方程式の最低次の摂動解と考えることができる。しかし、衝突に関する量はより高い次数の摂動解からでてこなければならない。相関関係がないときの 1 粒子についての分布関数を  $f$ , 2 粒子間に相関関係を考え、この相関関数を  $g$  とし  $f$  が空間的に一樣であるもっとも簡単なとき  $f$  についての式を解き、 $g$  を求め、 $g$  の漸近的極限 (時間  $\rightarrow$  無限大) を計算し、この極限値を衝突項の計算に用いる方法はすでに試みられ、その結果、衝突項は Landau がクーロン力に対してボルツマンの衝突項を計算した結果と非常によく一致している。しかし  $f$  がプラズマ振動周期  $1/\omega_p$  程度の時間のうちに急速に変化するような場合に  $f$  と  $g$  の相互作用から生じる力学的効果は、 $g$  の値としてその極限値を用いると、全く失なわれる。

プラズマ振動はちょうどそのような場合である。もちろん Rosenbluth や Rostoker の摂動理論の有効限界内で考えていたのでは、新しい効果は期待できない。これを研究するために空間的に一樣な場合についての Lenard の取り扱いを拡大し、 $g$  をその極限値よりむしろ有限の時間におけるものに一般化した。すなわち、 $f$  と  $g$  の満たす方程式を波数空間へフーリエ変換し、空間的に一樣な場合について、2 粒子積分方程式を解析した。その結果は少なくとも定性的には  $f$  の選び方を変えても適用できるようなものである。 $g$  を計算するにあたって、 $f$  は時間の関数であると仮定してきたのであるが、極限値からのずれは  $1/\omega_p$  の時間範囲であることを発見した。すなわち急速に変化する  $f$  に対しては、 $f$  と  $g$  が少なくとも線形近似で同時に決定されるような Self-consistent な問題を解く必要がある。結論としてプラズマ振動のような現象に対しては、ボルツマンの式の衝突項の従来の取り扱い是不適當であって、この方法でだけ Vlasov の方程式に対する相関関係の補正のプラズマ振動や不安定性などに対する効果を説明することができる。

(見目委員, 小早川正樹訳)

## 2.437. インジウム・アンチモ ナイドの性質と応用

R. E. J. King & B. E. Bartlett: Properties  
and Applications of Indium Antimonide,  
[Philips tech. Rev., Vol. 22, No. 7, April,  
1960/61, p. 217~225]

周期率表の 3 族と 5 族の金属を化合させて作る金属間化合物半導体の一般的説明を与え、中でも半導体

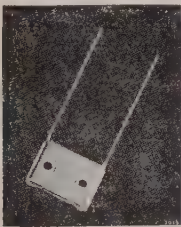


第 1 表

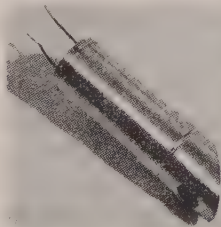
分 類	形 式	感光面積 (mm <sup>2</sup> )	波長範囲 (μ)	ビークレスポンス (μ)	時定数 (μs)	暗抵抗 (kΩ)	感度, 雑音, 性能指数			
							放 射	感 度	単位帯域あたりの等価雑音電力 (10 <sup>-9</sup> W)	性能指数 (cm/μW)
PbS	61 SV	36	0.3~3.5	1.8~2.8	75	1,000~4,000	2,700°K. タングステン光 200°C の黒体放射	3 mA/lm 180 μV/μW	0.055 5	11,000 120
PbSe	61 RV	6	1.0~5.0	2.0~4.3	≦1.0	15~100	4 μ 単色光	15 μV/μW	<8.5	>29
InSb	ORP 10	3	0.6~7.5	5.0~7.2	<11	0.1	6 μ 単色光 200°C の黒体放射	0.3 μV/μW 0.36 μV/μW	<4 <10	>43 >17
InSb 液体窒素冷却	ORP 13	3.5	0.6~5.5	4.5~5.0	<10	20~40	4 μ 単色光 200°C の黒体放射	14 mV/μW 2.4 mV/μW	<0.02 <0.12	>9,000 >1,500

としての特性の著しくすぐれている InSb について、禁止帯の幅が Ge の 0.72 eV, Si の 1.1 eV に対して 0.18 eV と非常にせまいこと、したがって常温における真性のキャリア密度が Ge の  $2.5 \times 10^{13}$ , Si の  $6.8 \times 10^{10}$  にくらべ  $2 \times 10^{16}$  と非常に大きいこと、さらに電子の移動度は常温で 70,000, 77°K で 650,000 cm<sup>2</sup>/V·s とけたはずれに大きいこと、などを導電率やホール係数の測定理論と結果を例示して説明している。

次に、半導体の移動度の理論つまり再結合とトラップについて説明したのち、InSb の単結晶の製造法の説明に移る。ここまでは多くの文献を参照しての技術綜説的なものであるが、次に InSb の応用として紹介している光電導素子は、著者らの勤務するイギリスの Mullard Radio Valve Co. で開発した独自のものである。



第 1 図



第 2 図

InSb の禁止帯の幅が非常に小さいために、InSb を用いた光導電体は 7.5~10 μ の波長の赤外線に感光する。これは、従来赤外線検出器に用いられていた PbS の 3.5 μ, PbSe の 5 μ, PbTe の 6 μ にくらべて著しく波長範囲が広がっている。また InSb は 1 μs 程度のきわめて早い応答をもっているので、軍事用の赤外線検出器に有用である。

ORP 10 形検出器は InSb の 10 μ 厚の板よりなり、感光面積は 6 mm×0.5 mm で、暗抵抗は 100 Ω でトランジスタ増幅が可能となっている。波長感度は 7.5 μ で、この波長感度を持つポロメータなどにくらべればはるかに応答が早い。細いストリップにするとスペクトロメータに利用することができる。また、40°C で 1 cm<sup>2</sup> の黒体からの熱放射を 40 cm 離れて感

知するほど感度がよい。第 1 図がその InSb セルである。第 2 図には液体窒素を用いて冷却する ORP 13 形の P 形 InSb セルを示すが、この場合には内部抵抗が 30 kΩ 程度に増し、感度も著しく向上する。第 1 表にこれらの特性を比較して示してある。

(北村委員, 片岡照栄訳)

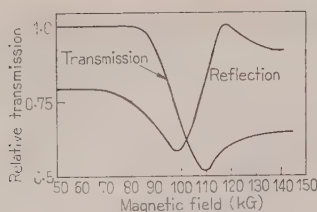
## 2.438. インジウム・アンチモナイドの高磁界でのサイクロトロン共鳴

B. Lax, J. G. Mavroides, H. J. Zeiger & R. J. Keyes: Cyclotron Resonance in Indium Antimonide at High Magnetic Fields. [Phys. Rev., Vol. 122, No. 1, April 1, 1961, p. 31~35]

波長 10~20 μ の赤外線を用いインジウム・アンチモナイドの結晶のサイクロトロン共鳴現象を 320,000 G までの高い磁界のパルスを用いて測定して電子の実効質量を求め、結晶のエネルギー構造を明らかにしている。

Globar からの赤外線を内径 3/8 in のパルスコイルの中央に置いた試料にあて、反射あるいは透過した光をプリズムモノクロメータを通して測った。比較的短い波長に対しては NaCl プリズムを、長い波長に対しては KBr プリズムを用いている。スペクトルの幅は全領域の 1% 程度である。

検出器は Zn をドーブした 1 mm<sup>3</sup> のゲルマニウム片からなり、赤外線はパラボラ鏡で反射されてゲルマニウムの下面に焦点を結ぶようになっている。検出器を含め測定回路はコイルから 6 ft 離して誘導障害を防いでいる。検出器からの出力はステンレスの同軸管を通して増幅器にいたり、オシロスコープ上に映像を結びポラロイドカメラで記録した。また、コイルには 2,000 μF のコンデンサに電圧 1,000~3,000 V でたくわえた電気を火花ギャップを通して放電してパルス電流を流した。測定に用いた InSb の試料は、厚さ 5~15 μ の円板で純粋のゲルマニウムの板の上に取り付け付けた。



第 1 図

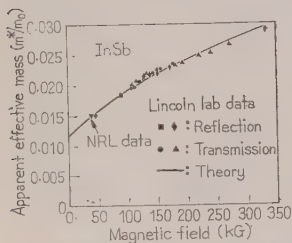
オシログラムに描いた透過および反射率の曲線は第 1 図のようになり、共鳴する磁界の強さ  $H$  は反射率が磁界零のときの値となる所で求められる。その結果電子の実効質量

$ma^*$  は

$$ma^* = eH/\omega c$$

より求められる。

ここで、 $\omega$  は赤外線  
の角周波数、 $c$  は光の速さである。第 2 図は、実験の結果を示し Naval Research



第 2 図

Laboratory, Bell Telephone Laboratories などが行った独立の実験とも一致し、Kane の理論を発展させた理論式でよく表わされる。(北村委員、片岡照栄訳)

### 3-439. 電力測定における CT, PT の誤差の影響

A. Keller: Meßwandlerfehler bei der Messung von Leistungen. [Arch. tech. Messen, Lief. 299, Dez., 1960, S. 253~256]

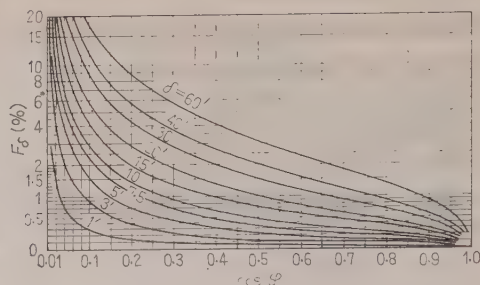
VDE 規格では CT, PT の誤差階級として 0.1 級, 0.2 級, 0.5 級などを定め比誤差, 位相角の限度を規定している。電力測定を精密に行うためには精度の高い CT, PT を選ぶべきではあるが、少なくとも 0.5 級を使用したい。

電力計, 電圧計, 電流計を用い, これに CT, PT を組み合わせたときの電力測定では CT, PT の比誤差  $F_i, F_u$  は各計器の指示に直接影響し, 位相角は負荷力率の大きさによっては測定電力に大きく影響する。

一般に電力は  $U_1 I_1 \cos \varphi_1$  で表わされるが, CT, PT に位相角が存在すると, 実際の電力計の指示は負荷力率角  $\varphi_2 = \varphi_1 - \delta$  で示している。 $\delta$  は CT の位相角  $\delta_i$  から PT の位相角  $\delta_u$  を引いた値である。したがって位相角による電力誤差は,  $\delta$  を min で表わしかつ小さいとすると

$$F_s = 0.0291 \delta \tan \varphi_1 (\%)$$

となる。それゆえ CT, PT の電力測定への影響すなわち合成誤差  $F$  は次式で表わされる。



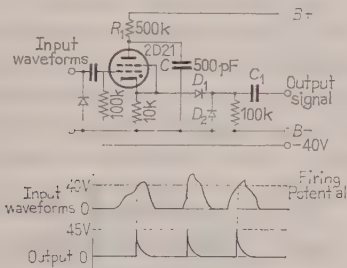


と信頼度が低い。

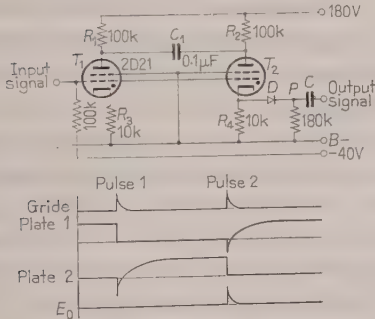
サイラトロン計数ユニットは、動作がガスのイオン化によるもので比較的低速ではあるが、熱損は少なく寿命は長く安定に動作する。

第1図は種々の波形の入力パルスを均一な波形のトリガパルスに整形する回路で、入力パルスが一定値に達するとサイラトロンは点火し、ダイオード-容量回路網 ( $D_1-C_1$ ) を通じ先鋭状パルスを生ずる。入力パルスが消滅し、格子が  $-40\text{ V}$  にもどると、 $C$  は放電し  $R_1$  の電圧降下により陽極電圧は低いままに保たれ、サイラトロンは導通状態を保持できなくなり、もとの状態に復帰する。

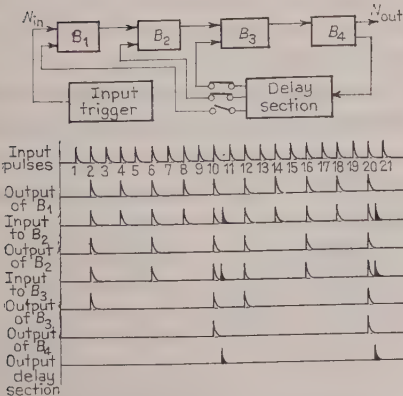
第2図は2進回路でこの回路をカスケードに接続すれば2進カウンタとなる。このべき乗以外の数のカウンタ (たとえば5進あるいは10進) を必要とすると



第1図 入力トリガ回路



第2図 2進回路



第3図 計数ユニットの構成図

き、2進カウンタにおいて帰還回路が用いられる。この場合帰還パルスは入力パルスより少し遅れるように遅延回路を通して帰還される。

第3図は計数ユニットの全体の構成図である。スイッチの操作により数種の計数ユニットに変えることができる。図では10進計数ユニットの例を示し、黒いパルスは帰還パルスである。

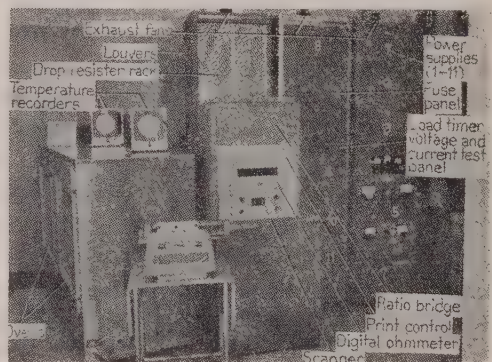
(柿沼委員, 関川幸夫訳)

### 3-441. 半自動化抵抗試験装置

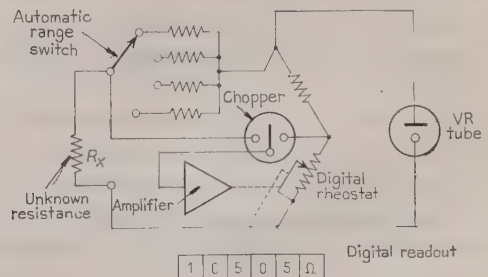
W. P. Burke & F. J. Scott: A Semiautomatic Method for Resistor Testing. (Elect. Engng, Vol. 80, No. 3, March, 1961, p. 193~195)

IBM の抵抗寿命試験における時間短縮とデータ集録のため試作された装置の概要を紹介している。半自動化の目標は、(1) 自動抵抗値測定、(2) 全装置の設置統合、(3) 操作、保守の簡易、(4) 各部ユニットと接続ケーブルの統一と耐久性。以上の4点とし第1図の概観のようにこれを実現することができた。

自動化ユニットとしては、走査機、デジタルオームメータ、IBM 電動タイプライタを使用し、各被試験抵抗-負荷-測定器間の接続は金めっきの50ピンコネクタを用いている。走査機は、被試験抵抗各個または1~20個のグループを自動的に選択し測定する。オームメータは第2図に示すような一般的な回路で、測定範囲は  $0.1\Omega \sim 10\text{ M}\Omega$ 、精度はそれぞれ  $0.01 \sim 0.1\%$ 、



第1図 半自動化抵抗試験装置



第2図 デジタルオームメータの原理図

5 けたの測定値が数字板に表示される。また測定中は抵抗の番号を表示するとともに、印刷結果にも抵抗値と並んでこれを印字する。測定時間は 100 個の抵抗値で約  $3\frac{1}{3}$  min, 1 個あたり 2 s で従来の 5 ダイアルホイートストンブリッジを用いた  $1\frac{1}{2}$  h, 1 個あたり 1 min とくらべて著しく高速化できた。

試験条件は  $125^{\circ}\text{C}$  で 75 % 全負荷くり返し ( $1\frac{1}{2}$  h on,  $\frac{1}{2}$  h off) 5,000 h で 1, 2 週間ごとの測定である。このため 168 h 記録可能な放射形こう温そうに 10 台の抵抗フレームが簡単に着脱できる構造を持つ、各フレームには抵抗 100 個をセットし、各抵抗は 1 in の空けきを取ってある。他に負荷抵抗、ヒューズ盤、負荷印加時間、電流電圧試験盤、電源部などが 3 台の標準形リレーキャビネットに収納されている。

(柿沼委員, 中奥 篤訳)

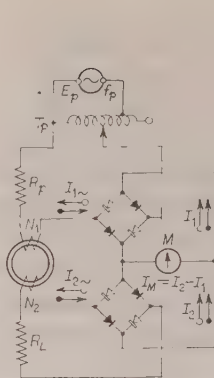
### 3-442. 広範囲記録ミリアンペア計用 超小形 CT

William A. Geyger: Miniaturized Current Transformers for Multirange Operation of Milliammeter Ink Recorders. [Commun. and Electronics, No. 52, Jan., 1961, p. 681~689]

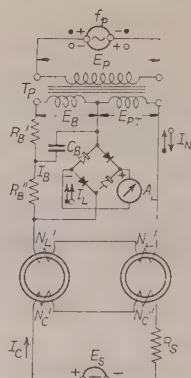
可動コイルペン書き記録計を 0.1 mA から 10 A までの広範囲にわたって動作させるための交流および直流用超小形 CT の設計と、特性ならびにその CT の比誤差を  $\pm 0.3 \sim 0.5\%$  の精度で測定できる差動試験法の紹介である。

交流用 CT は定格二次電流 1 mA, 定格出力  $2 \times 10^{-3}$  VA を基準として設計されており、鉄心材料は, AT および鉄心断面積が小さいという制約に対処するため、初透磁率が高く、小さいうず電流が Mo-パーマロイのテープ(厚さ 2 mil)を使用する。鉄心寸法は内径 1,250 in, 外径 1,500 in, 幅 0.125 in である。巻数は一次、二次とも 10,000 ターンで、電流の測定範囲を拡張するために、一次側に中間タップを設けて希望の変流比が得られるようにする。第 1 図は巻数比が 1/1 であることを利用したこの CT の差動試験回路で、一次と二次に流れる交流  $I_1, I_2$  は 2 個の全波整流器によって整流され、誤差電流  $I_M$  が可動コイルマイクロアンペア計  $M$  に流れる。比誤差  $\Delta K_1 = \frac{I_M}{I_1} \times 100(\%)$  は  $R_L$  のいかんによって決まり、 $N_2$  を適当に調整すれば  $\pm 0.2 \sim 0.3\%$  以内に押えることができる。

直流用 CT のほうも設計上の注意事項は交流用 CT とほぼ変わらず、鉄心材料、寸法、巻数も同一であるが、鉄心の磁化電流を少なくするために交流バイアス回路を設けるのが特徴である。本文では交流バイアス回路の構成について二つの方法を示し、さらに比誤差を上記の精度で精密測定するための差動試験回路について説明を加えている。第 2 図は交流バイアス回路を



第 1 図



第 2 図

設けた小形直流 CT の一例で、バイアスキャパシタ  $C_B$  を  $0.1 \mu\text{F}$ , バイアス抵抗  $R_B'$  を  $60,000 \Omega$ ,  $R_B''$  を  $1.1 \text{ M}\Omega$  に選ぶと、磁化電流は約  $3 \mu\text{A}$  となり、バイアス回路を設けない場合の約  $1/7$  にまで減少する。

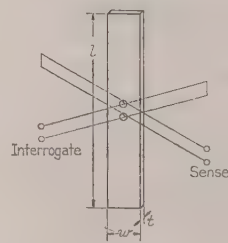
なお、交流用 CT の場合でも直流用 CT の場合でも一次電流 1 mA の端子に 1 V あたり  $1,000 \Omega$  の直列抵抗をそう入すれば  $10,000 \text{ V}$  までの高電圧の測定を行うことができる。(柿沼委員, 石和田次郎訳)

### 3-443. 小電流の高速度検出用 の磁氣的装置

J. A. Baldwin, Jr.: A Magnetic Cevise for High-Speed Sensing of Small Currents. [Commun. and Electronics, No. 53, March, 1961, p. 1~3]

ゆるやかに変化する多くの入力を高速度で走査してモニタするのに、Ferrod と呼ばれる磁氣的装置が開発された。この構造、電気的特性、動作理論、実験との比較などが述べられている。

第 1 図のような角形ヒステリシス特性で保磁力の小さい Mn-Mg-Cd 系フェライトのコアに二つの穴があけられ、ソレノイドコイルに入れる。このソレノイドコイルに検出すべき電流を流す。測定の方法は次のようである。Interrogate コイルと Sense コイルとがコアの一つの穴を通り、他の穴からもどるようにしておき、Interrogate コイルに穴の周囲の部分飽和させるに充分な一連の交流パルスを送れば、磁束のスイ



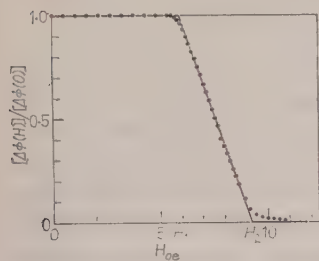
第 1 図

第 1 表

$w=0.12650$ in
$r=0.02740$ in
$d=0.05226$ in
$t=0.04920$ in
$l=1.5007$ in
$B_s=2,200 \text{ G}$ or unit of magnetic flux density
$H_c=0.2 \text{ Oe}$



ッチングが起り、Sense コイルに誘起される電圧を積分して磁束変化に比例する出力が得られる。もしソレノイドの電流が小さく、コアの周囲が飽和して



第 2 図

が小さくなり、完全に飽和してしまうと出力は零になる。このようにソレノイドの電流によって磁気コアのスイッチングを制御するのが原理である。

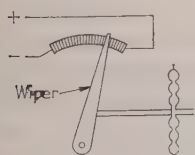
第 1 表の寸法のコアについてソレノイドによる縦方向の磁界  $H_{00}$  とスイッチングによる磁束変化  $\Delta\phi(H)$  を示したのが第 2 図である。 $H_1$  と  $H_2$  との間では  $H$  を増すと磁束変化が直線的に減少している。

(柿沼委員)

### 3・444. 電位差計式圧力変換器

Harry N. Norton: Potentiometric Pressure Transducers. [Instrum. and Control Syst., Vol. 34, No. 2, Feb., 1961, p. 244~247]

直流信号による計装方式が最近ますます発達するにつれ、これに必要な検出変換器が重要な要素となりつつある。本論文では、圧力を直流信号に変換するための電位差計式圧力変換器についてその原理、構造、使用方法などが述べてある。原理は第 1 図に示すようにカプセル、ベロー、ブルドン管



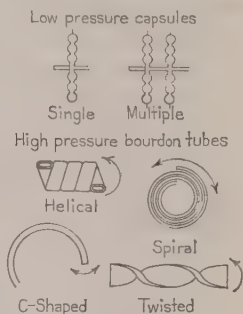
第 1 図

などのような圧力検出器に直結されたしゅう動子により、圧力変化に応じて抵抗上をしゅう動させ抵抗に印加した電圧の分圧比を圧力に比例させるようにしたものである。しかし目的によっては圧力と分圧比との関係を正弦、余弦、対数または指数関係にする場合もある。

測定範囲は低 (100 lb/in<sup>2</sup>)、中 (100~350 lb/in<sup>2</sup>)、高 (350 lb/in<sup>2</sup> 以上) の 3 段階に分けられており、圧力検出器の種類によって定まる。第 2 図に圧力検出器の種類を示す。ベローあるいはカプセルは普通 100 lb/in<sup>2</sup> までで低圧力用である。最近では 350 lb/in<sup>2</sup> まで使用しうるものもでてきたがそれ以上ではもっぱらブルドン管が用いられる。ベローあるいはカプセルは 2 個の皿状ダイヤフラムよりなり鉄-ニッケル合金が温度に対して安定であるといわれている。もっとも普通の形は直径 7/8 in、変位約 0.04 in である。これを 2

個カスケード結合したものもある。ブルドン管ではらせん状、うず巻状のものもあれば使用される。ねじれ形や C 形に対して感度がよく電位差計式に適する。

しかしいずれにしても検出器の動きが少ないので、電位差計のしゅう動子を動かすのにこの原理で増幅する。また耐振動性を増加させるためオイルダンピングが行われる。通常シリコン油で抵抗やしゅう動子、さらに



第 2 図

検出器の機械的増幅部など全体をおおようにする。電位差計に使用される抵抗はニッケル合金線を 200~600 回巻いたものが多いが、分解能を増すためカーボンフィルムや導電性プラスチックを使用したものもある。

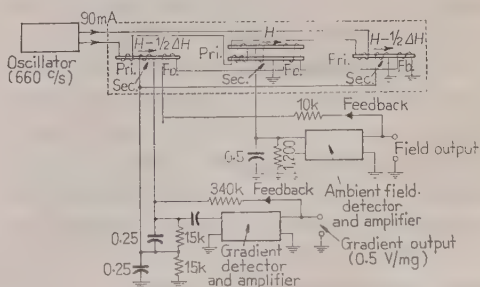
(柿沼委員, 楠井昭二訳)

### 3・445. 倍周波形の磁界こう配測定器の設計

R. M. Morris & B. O. Pedersen: Design of a Second Harmonic Flux Gate Magnetic Field Gradiometer. [Rev. sci. Instrum., Vol. 32, No. 4, April, 1961, p. 444~448]

地球磁界のこう配の測定器として次の要件のものが必要になった。(1) 1/4 mG 以内の誤差で 15~20 ft のベース長で 5~50 mG (500~5,000 γ) の磁界のこう配を連続測定できる。(2) こう配測定用の検出部は携帯使用できる。(3) 長期安定である。

Serson が設計した倍周波形の磁力計を応用した二つの形を比較した結果、採用したのが第 1 図の方式である。この方法は 3 個の倍周波形磁界検出部を用い、左右 2 個の検出部はこう配に比例した信号を生ずるように差動的に使用される。一次コイルを 660 c/s で励磁し、二次コイルに生じた磁界に比例した倍周波信号の差を増幅、積分し、二次コイルに帰還して  $1/2 \cdot \Delta H$  を打ち消す。この帰還電流は 磁界のこう配  $\Delta H$  に比



第 1 図

例する。中央にある検出器は磁界の平均値に比例した倍周波信号を出し、やはり増幅、積分したのち3個の検出部に設けた帰還コイルに流し、平均磁界  $H$  を打ち消す役をしている。このように外部磁界を零にする回路が平均磁界  $H$  を打ち消し、磁界のこう配を零にする回路が残りの差  $\Delta H$  を打ち消す。したがって帰還による方法の特長として、電子回路の利得、励磁振幅、周波数などの変動に無関係となり、長期間安定に測定できる。

40 h 試験してみると、出力変動は平均値からのずれが  $10\gamma$  以内であった。この変動は電子回路のドリフト、温度変化による検出部支持機構のそり、実際の磁界のこう配の変化によるものであった。

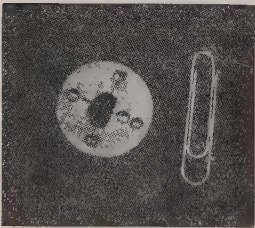
(柿沼委員)

### 3.446. 低周波ラジオ干渉測定用 磁界ピックアップ

M. Epstein & R. B. Schulz: Magnetic-Field Pickup for Low-Frequency Radio-Interference Measuring Sets. [Trans Inst. Radio Engrs, on Electron Devices, ED-8, Jan., 1961, p. 70~77]

放射されたラジオ干渉の測定には、普通電磁波のうちの電界  $E$  だけを測定している。放射源から充分離れていれば  $E/H=377\Omega$  であるから、このような測定によって磁界の強さを求めるわけであるが、実際には誘導や地面の影響で必ずしも正確でないことが多い。そこで磁界の強さそのものを測定するために半導体のホール効果を利用した装置を試作した。

ホール効果およびこのような目的に対して、半導体

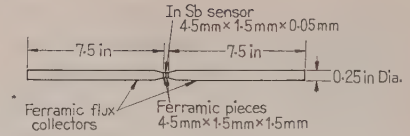


第 1 図

の温度上昇の制限から定まる最大感度の理論と雑音の性質について説明したのち、この実験に用いたプローブを紹介している。

ホール素子は  $-196^{\circ}\text{C}$  での電子密度が  $10^{15}/\text{cm}^3$ 、電子移動度  $200,000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  の N 形インジウム・アンチモナイドを長さ 0.250 in, 幅 0.090 in, 厚さ 0.010 in に切断し、1/16 in の厚さの H 形フェライトにはりつけ、半導体片を 0.001 in の厚さまですりへらす。これにすず線の電極をはんだ付けし、同じ形状の他の 1 枚のフェライト板をその上からはり合わせ、半導体ホール素子のサンドイッチを作り、これを円形のセラミック円板に取り付ける。電極は全部で五つあり、一つは無誘導にするため、ループを打ち消すためのものである。第 1 図はこのプローブの写真である。

特性の測定のためには直径 4 ft で 20 ターンのコイ



第 2 図

ルを 2 個作り、2 ft 離して平行に置いて直列に接続し、中央の直径 1 ft の球内では磁界の強さは一様で、33 mA の電流に対して  $10^{-2}\text{ G}$  になるようにした。ホール素子の直流電流 235 mA に対して 30 c/s から 15 kc までのすべての周波数の磁界で  $5\mu\text{V}$  であった。したがって感度は  $500\mu\text{V/G}$  になる。直流電流を零にしたときに感ずる Stray Pickup に対するホール出力は 15 kc で 14 dB であった。

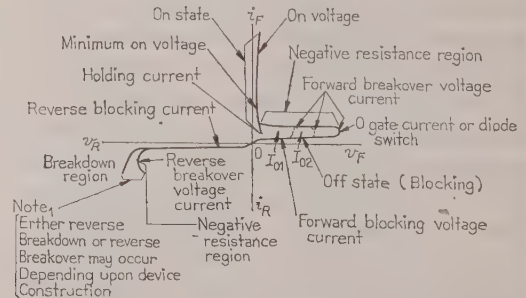
第 2 図のように、このプローブをはさんで長さ 7.5 in, 直径 1/4 in の H 形フェラミックの棒を 2 本取り付けて磁界を集中させると、30 c/s から 15 kc までの範囲で感度は  $70\text{ mV/G}$  に上昇する。付録にこのような場合の電磁界の乱れによる誤差を計算しているが、大ききで 6%, 方向で  $2.5^{\circ}$  をこすことはない。

(北村委員, 片岡照栄訳)

### 4.447. 半導体スイッチの 推奨すべき定義

A. I. E. E. Rectifier Device Working Group of the A. I. E. E. Semiconductor Rectifiers Committee: Proposed Definitions for Semiconductor Switches. [A. I. E. E. Transaction Paper No. 61-127]

1959 年 10 月シカゴでの総会で A. I. E. E. Rectifier Device Group が半導体スイッチの定義を作るように指令され、1959 年 10 月 27 日に第 1 回を開いてから任務完成までの間 5 回の会合を持ち、関係グループと工業界一般の論説を入れて 1960 年 8 月 30 日草案を完成した。しかしターンオン時間の定義は使用する試験回路によりかわるため A. I. E. E. Rectifier Device Test Group で決めるまでの間一時的に除外することになった。同年 10 月 11 日 Semiconductor Rectifiers Com-



第 1 図 Typical anode-to-cathode voltage-current characteristic



第 1 表 Classes of semiconductor switches

Number of terminals	Semiconductor switch		
	Genric	Reverse blocking	Reverse Non-Blocking
2	Semiconductor diode switch	4 layer diode	Dynistor
3	Semiconductor Triode switch	Semiconductor controlled Rectifier cell	Thyristor
4	Semiconductor tetrode switch	...	..

mittee で定義は承認され、Standard Committee へ送付された。

この定義中第 1 表のように半導体スイッチが分類されている。また順、逆特性を陽極-陰極電圧、電流特性としては第 1 図のように名づけており、中でもターンオフ時間としては、特定の回路条件下で通電中の一定順電流値がスイッチ後順阻止電圧の一定値になるまでの時間というように定義している。そのほか定格事項の用語をそれぞれ規定している。

(山田委員，加藤又彦訳)

#### 4-448. 合金拡散形トランジスタ

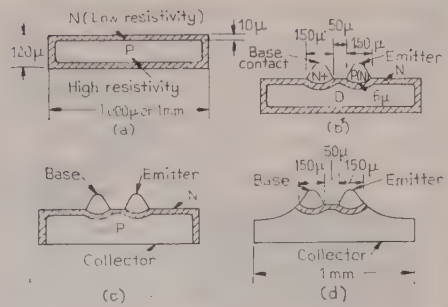
E. Wolfendale: Alloy-Diffused Transistors.

[Electronic Engng, Vol. 33, No. 396, Feb., 1961, p. 88~93]

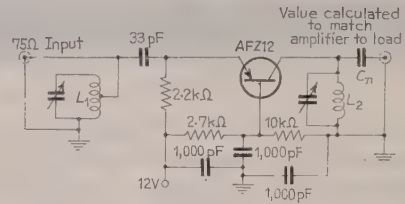
この論文では合金拡散形トランジスタが従来の合金形トランジスタに比較してなぜすぐれているか、またその構造および製造工程に関して述べている。そしてこの合金拡散形トランジスタは、将来 UHF や特に大電力用のものを除いて広範囲にわたって真空管に置き換えることができるだろうといい、終りに各種回路を例示している。

製造工程としては P 形の高固有抵抗から出発し N 層を拡散法で形成する。この場合、不純物は Sb でこの拡散は Sb の蒸気中で行う。拡散の深さのコントロールは容易にできる。次にドナー、アクセプタを含むペレットとドナーだけを含むペレットを P 形に N 層を拡散させたスライスに合金させる。ドナーだけを含むペレットは拡散層に対しオーミックな接続をし、ドナー、アクセプタを含むペレットはエミッタ接合を形成する。両方のペレットが N 形の不純物を含んでいるので合金の際 N 形の不純物はさらにコレクタ側に深く拡散し、したがってベース層は二つのペレットの合金により合金前にくらべてコレクタ側に押し出されてくるような形になる。スライスの裏側はエッチしコレクタの接続は直接溶着される。コレクタ容量を小さくするためエミッタ、ベース電極の小さな部分をマスクし、他はエッチして取り除く。これはメサトランジスタの場合に似ている。第 1 図にこの工程を示している。

従来の合金形に比較してすぐれている点は第 1 図に示すように、コレクタ側は高固有抵抗の P 形で表面



第 1 図



第 2 図

には N 形の拡散層を形成してある。高固有抵抗側はコレクタになっており、したがってコレクタの空間電荷層容量は合金形にくらべてかなり減少している。またベース抵抗も拡散層は低固有抵抗になっており、この点でも相当有利になる。

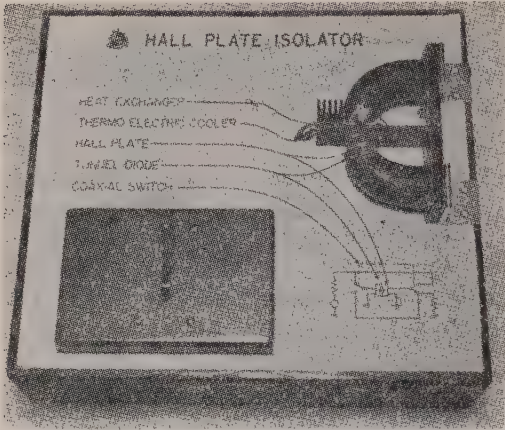
高周波への応用の一例 AFZ 12 トランジスタは OC 171 よりさらに高周波として、また 200 Mc で相当よい増幅度が得られる。200 Mc 増幅器の設計はもちろん VHF 受信機の RF 増幅器と非常によく似ている。第 2 図に示す回路における利得は 10 dB である。

(鳩山委員，竹花良人訳)

#### 4-449. ホール効果とトンネルダイオードを組み合わせたマイクロ波アイソレータ

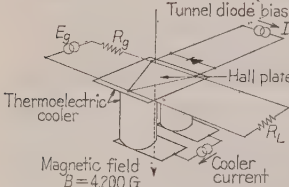
C.H. Hubbard, L.A. LoSasso & F. Rousso: Microwave Isolator Combines Hall Effect and Tunnel Diodes. [Electronics, Vol. 34, No. 24, June 16, 1961, p. 56~57]

ホール効果を利用したアイソレータと並列に負性抵抗と広い周波数帯域をもったトンネルダイオードを使用すれば、このアイソレータ回路の損失を少なくし、広い周波数帯域を持たせることができるであろうというのがこの装置のアイデアである。また、通常の 4 端子ホール素子を用いたアイソレータでは、一次回路と二次回路は独立させなければならないので、共通に接地をとることができず、回路が複雑となるのをまぬがれなかった。この欠点を除くためにこの装置では 3 端子のホール素子を用いている。さらにホール素子をサーモエレメントを用いて冷却して温度を下げ、アイ



第 1 図

$$R_0=R_G=R_L=\frac{R_0(3/4+a^2)}{1/2+a}=22.5\Omega \text{ (Input and output matched)}$$



第 2 図

3 端子ホール素子のインピーダンス行列は 2 端子間の抵抗を  $R_0$ 、非可逆指数を  $a$  とすると

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_0(1/2+a) \\ R_0(1/2-a) & R_0 \end{bmatrix}$$

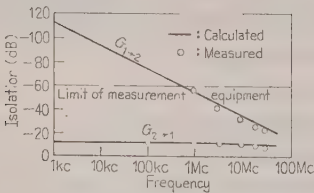
で表われ、要求されるトンネルダイオードの負性抵抗の大きさは

$$R_N=R_0(3/4+a^2)/(1/2\pm a)$$

で与えられる。符号の±は回路の方向による。このようなアイソレータの入カインピーダンスは同じく

$$R_{in}=R_0(3/4+a^2)/(1/2\pm a)$$

で与えられる。



第 3 図

第 3 図は 1 N 2941 トンネルダイオードを用いた場合の周波数対アイソレーションの特性を示したものである。

(北村委員, 片岡照栄訳)

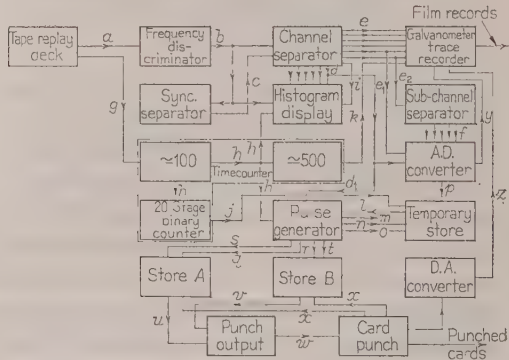
4・450. 遠隔測定データの自動処理装置

N. Purnell & T.T. Walters: An Equipment for Automatically Processing Time Multiplexed Telemetry Data. (J. Brit. Instn Radio Engrs, Vol. 21, No. 3, March, 1961, p. 257~274)

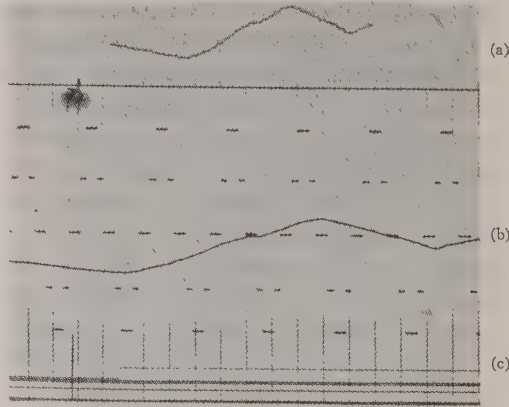
最近の誘導弾技術の発達は、数百万におよぶデータの検討により進められている。飛行体より伝送された大量のデータを、ディジタル計算機で処理できる形に変換するのに、人為的に整理していたのでは大きな労力と時間とを必要とする。そこで伝送されデータを磁気テープに記憶し、これを短時間で計算機用パンチカードに整理できるような自動処理装置が作られた。

第 1 図は装置の系統図である。本文ではおののについてその機能を詳述してある。

装置への入力としては、周波数変調された伝送データと時間参照のための発振信号をテープ速度 15 in/s で高速度磁気録音したものを再生する。また出力は 80 列×12 行のパンチカードで IBM 513 形の機械を用いている。



第 1 図 系統図



第 2 図 パンチカードによるアナログ図形 (b) と直接描いたアナログ図形 (a)

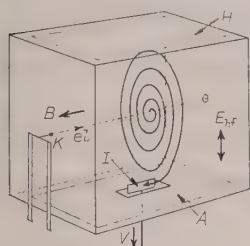


データは、周波数弁別器、チャネル分割器を経て検流計形軌跡記録計 (Galvanometer trace recorder) に描かけるが、ディジタル形式の記録もチャネル分割器より A-D 変換器、パルス発生器を経て、IBM 513 により、パンチカードの形でディジタル表示される。ここでパンチカードに記録されたデータは送信機の非直線性などを A-D 変換器において補正されたものであるから、パンチカードは再読され D-A 変換器をとって前記の検流計形軌跡記録計に描かれ、直接記録されたものと比較できるようになっている。(第 2 図参照) (柿沼委員, 橋本寿夫訳)

#### 4・451. 定量ガス分析用のオメガトロン

A. Klopfer & W. Schmidt: An Omega-tron for the Quantitative Analysis of Gases. [Philips tech. Rev., Vol. 22, No. 6, March, 1960/61, p. 195~203]

第 1 図はオメガトロンの原理を示すものである。陰極  $K$  を出た電子の一部は箱の穴を通過して点線  $el$  にて示すように電子線となって進行する。電子線の方向と同じ方向に一樣磁界  $B$  が加えられ、電極  $A$  と  $H$  により微小な高周波電界が作用する。気体分子が電子



第 1 図

線と衝突して生じるイオンは磁界の作用により角振動数  $\omega_0 = e/mB$  で磁界方向を軸として回転する。高周波電界の角振動数  $\omega$  が  $\omega_0$  と一致するときイオンは図示されているようならせん軌道を描いて運動し、しだいに軌道の

半径が大きくなる。 $\omega_0$  が  $\omega$  と一致しないイオンの運動は成長することなく、電子線の周囲に局在し周囲の電極に流れ込む。コレクタ  $I$  に流れるイオン電流の大部分は  $\omega$  と等しい  $\omega_0$  をもつイオン成分である。

共振しているイオンのうちコレクタ  $I$  に流れる割合  $\alpha$  は 1 より小さい値で、電極構造および電圧配置に依存するほか、他イオンの存在により生ずる空間電荷の影響および電極の表面が汚損しているときには表面電位の影響を受ける。特に後の 2 者は同一のオメガトロンにおいて一定していない。かように  $\alpha$  が不確定な定数であるがためにオメガトロンの定量分析に使用することには困難がある。

適当な電極構造と電圧配置を選ぶことにより  $\alpha$  が 1 に近い値をもつようなオメガトロンを作ることができる。改良されたものでは 10% の精度で定量分析が可能である。動作の具体例は次のとおりである。磁界強度が  $0.5 \text{ Wb/m}^2$ , 高周波電圧が  $1 \text{ V (rms)}$  である場合  $10^{-5} \text{ mmHg}$  以下の真空中で満足に動作した。 $10^{-16} \text{ A}$

を検知する直流増幅器を用いて  $1 \times 10^{-12} \text{ mmHg}$  程度のガス分圧を検出できた。分解能は約 30 であった。

(見目委員, 山本進一郎訳)

#### 4・452. 酸化物陰極の導電性

(その 9-熱起電力)

G. H. Metson & M. F. Holmes: The Conductivity of Oxide Cathodes, Part 9.-Thermoelectric Power. [Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 108, Pt. C, No. 13, March, 1961, p. 83~92]

酸化物陰極の熱起電力特性については、従来あまり注目されなかった。この問題に関して 1952 年に Young が測定を行っている。彼はアクチブニッケルで作った 2 枚の円板電極の間に普通の密度の  $(\text{BaSr})\text{O}$  をはさみ、各電極に熱電対と絶縁したヒータを取り付けた構造を使用して実験を進めた。高真空にし活性化を行ったのち  $300 \sim 1,100^\circ\text{K}$  の範囲で測定を行った結果、熱起電力は約  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  であった。さらに彼は、この起電力が温度に対して複雑な関係をもち、酸化物陰極の導電性の二つの性質に関係しているを見出し、Loosjes と Vink のポアーモデルと結びつけようと試みている。

今回のこの報告は Young の結果の確認と拡張を行い、実験結果の理論的説明をさらに明らかにし、普通の真空管の動作に関係があるかどうかについて行った実験の結果である。

実験に使用した測定球の構造は、(1) Young のものと同一構造の測定球、(2) 二つの電極に別々に酸化物を塗布し、すき間を持って対向させた測定球、(3) 二つの電極の一方に酸化物を塗布し、すき間を持って一方の電極と対向させ、酸化物の蒸発を利用してその電極に酸化物の薄膜を付けた測定球の 3 種である。測定は  $900 \sim 300^\circ\text{C}$  の範囲について、一度両電極温度をあげたのち一方の電極温度を下げながら、両電極間の起電力を測定する方法を使用した。

実験の結果は、見掛け上複雑ではあるが、実際は全く簡単な二つの現象が重ね合わさったものであることを表わしている。すなわち、起電力の大きいほうの要素は酸化物のマトリックスの空間を通過する電子の移動によって発生するもので、 $20 \sim 30 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  を示し、一方、小さいほうの要素はマトリックスの固体粒子の鎖によるもので、 $0.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  を示している。これら二つの要素は温度と温度こう配には無関係であるが、実際には並列に接続された形であることと異なる要素であることのためにマトリックスの温度こう配によって、真空側の方向と固体側の方向に電流の循環が起り複雑になっている。起電力の大きいほうの要素は本質的には、真空中の熱電子放出に関係したものであるから、リチャードソンの法則で充分説明づけること

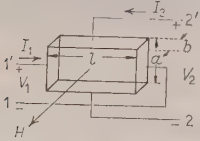
ができる。

(見目委員, 黒岩 奂訳)

#### 4.453. ホール発電機の4端子解析

D.L. Endsley, W.W. Grannemann & L. L. Rosier: Four-Terminal Analysis of the Hall Generator. [Trans Inst. Radio Engrs on Electron Devices. Vol. ED-8, No. 3, May, 1961, p. 220~224]

InSb 半導体の特性と形状からホール発電機の4端子定数を求める理論式を導き, インピーダンスや利得を理論的に計算して実験結果と比較した論文である。



第 1 図

第 1 図に示すようなホール発電機の電流回路 (1) とホール電圧回路 (2) の電圧, 電流は (1) 式で表わされ, その4端子定数は半導体の

導電率を  $\sigma(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$ , ホール定数を  $R(\text{cm}^2/\text{C})$ , 長さを  $l$ , 幅を  $a$ , 厚さを  $b$ , ホール電圧電極の幅を  $k$ , (いずれも cm) 磁界の強さを  $H(\text{G})$  とすると, (2) 式ようになる。

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Z_{11} &= \frac{l}{\sigma ab}, \quad Z_{12} = \frac{-RH \times 10^{-8}}{b} \\ Z_{21} &= \frac{RH \times 10^{-8}}{b}, \quad Z_{22} = \frac{2F(e^{-\pi k/a}, \pi/2)}{\sigma b F(\sqrt{1-e^{-2\pi k/a}}, \pi/2)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで,  $F(e^{-\pi k/a}, \pi/2)$  は第 1 種の完全な円積分である。

これらの結果を用い, 負荷のインピーダンスを  $Z_L$ , 電源のインピーダンスを  $Z_g$  として, ホール発電機の入力および出力インピーダンスならびに電圧および電流利得を求めると (3) 式ようになる。

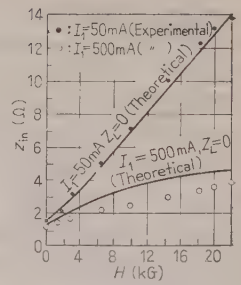
$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{l}{\sigma ab} \left( 1 + \frac{R^2 H^2 \sigma^2 a \times 10^{-16}}{8a + \sigma b l Z_L} \right) (\Omega) \\ Z_{out} &= \frac{a}{\sigma b l} \left( 8 + \frac{R^2 H^2 \sigma^2 l \times 10^{-16}}{l + \sigma a b Z_g} \right) (\Omega) \\ A_v &= \frac{RH \sigma^2 a b Z_L \times 10^{-8}}{a(8 + R^2 H^2 \sigma^2 \times 10^{-16}) + \sigma b l Z_L} \\ A_i &= \frac{RH \sigma l \times 10^{-8}}{8a + \sigma b l Z_L} \end{aligned} \quad (3)$$

導電率やホール定数は一般に温度や磁界の関数であり, InSb の場合には次の (4) 式の実験式で表わされるので, これらを (3) 式に代入することにより, それぞれの値を理論的に計算することができる。

$$\begin{aligned} \sigma(T, H) &= \frac{50(1 + 0.02 T^{3/2} e^{-1044/T})}{1 + 0.25 \times 10^{-3} H} \\ R(T) &= \frac{3\pi}{8} \frac{\mu}{\sigma(T)} \end{aligned} \quad (4)$$

実験の結果は理論値とほぼ一致した。その一例を第 2 図に示す。ここで, 入力インピーダンスの磁界による変化が電流 500 mA のときに小さくなっているのは, ホール発電機の温度が上昇しているからである。

(北村委員, 片岡照栄訳)



第 2 図

#### 5.454. 直接結合形トランジスタ直流増幅器の電圧ドリフトリ補償回路

U. Hölken: Eine Schaltung zur Kompensation des Spannungsdriftes der Eingangsstufe eines direkt gekoppelten Transistor-Gleichspannungsverstärkers. [Nachrichtentech. Z.(N.T.Z.), 14. Jahrg., Heft 1, Jan., 1961, S. 32~36]

直流増幅器のトランジスタ自身に原因するドリフトは温度と経年変化によるが, 本文では温度による入力段の電圧ドリフトを理論的に計算し, 測定結果からいかなる精度まで補償しうるかを述べてある。すなわち,  $U_{ce}$ , (コレクタ-エミッタ電圧)  $I_c$  (コレクタ電流) 一定時の  $U_{be}$  (ベース-エミッタ電圧) は (1) 式で表わされるので

$$U_{be}(T) = U_{be}(T_0) + \frac{dU_{be}}{dT}(T - T_0) + \dots \quad (1)$$

$U_{be}(T)$  特性に応じた補償をすればよい。電圧ドリフトを

$$dU_{be} = \left( \frac{\partial U_{be}}{\partial T} \right)_{I_c, U_{ce}}$$

と定義すれば, 理論式より

$$\left( \frac{\partial U_{be}}{\partial T} \right)_{I_c, U_{ce}} = - \left( \frac{q}{T} U_{be}' + \frac{5k}{2q} \right) \quad (2)$$

$\epsilon_q, q, k$  は定数,  $U_{be}'$  はベース-エミッタ間の障壁に実際にかかる電圧で, 測定困難なため実用的には (3) 式を代用する。

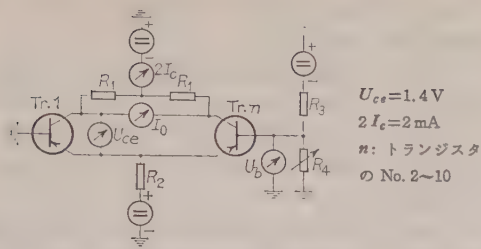
$$\left( \frac{\partial U_{be}}{\partial T} \right)_{I_c, U_{ce}} = - \left( \frac{a - U_{be}}{T} + b \right) \quad (3)$$

$b = 5k/2q = 0.216 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ ,  $a$  は 10 個のトランジスタの測定結果から  $a = 0.768 \text{ V}$  として測定精度内で同一値を得た。補償精度は (3) 式の精度により決まるので,  $U_{be}$  を 2 個のトランジスタの差電圧で測定するのが第 1 図である。 $R_4$  は  $I_0 = 0$  に調整する。 $U_b = U_{be1} - U_{be2}$  であるから (1), (3) 式より

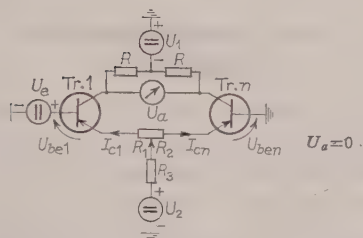
$$U_b = U_b(T_0) \left( 1 + \frac{T - T_0}{T_0} \right) \quad (4)$$

この回路の測定結果と (4) 式の計算結果 (OC 350 10 個) より (3) 式の精度は約  $20 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  といえる。第 1





第 1 図  $U_{be1}(T) - U_{ben}(T)$   
の測定回路



第 2 図  $dU_e/dT=0$  とする  $U_2$  を  
求める回路

図で Tr.1 のエミッターベース間に入力を入れ、電流計  $I_0$  を除くとそのまま補償回路となる。また (4) 式で温度特性の適当な抵抗を用いて  $U_b(T_0)$  を補償するか、Tr.n のエミッタ回路に抵抗を入れ  $U_b(T_0)=0$  としてもよい。あるいは第 2 図の回路で  $dU_e/dT=0$  を得る  $U_2$  を計算で求めているが、 $U_2=806\text{ mV}$  で  $|dU_e/dT| < 9\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  で (3) 式の精度をこえる。 $R_1R_2$

第 1 表 第 2 図の回路による測定結果 ( $U_{ce1}=1.4\text{ V}$ ,  $U_2=0.8\text{ V}$ )

トランジスタ	No.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_e(\mu\text{V})$ , $T=$	24.2°C	0	+16	-21	-10	-70	-60	-40	-40	-70
	33.9°C	-10	+50	+30	+10	-40	-80	-150	"	-260
	43.65°C	-70	+110	0	+50	+20	-130	-280	-270	-470
	55.35°C	-130	+200	+10	+130	+80	-190	-540	-450	-760
$U_e(\mu\text{V})$ の最大測定誤差		35	19	34	42	29	42	61	35	24

は  $U_a=0$  に調整。測定結果を第 1 表に示す。これらの補償によりドリフトは 1/100 に押えることができた。  
(柿沼委員, 中奥 篤訳)

## 6・455. シリコン制御整流器

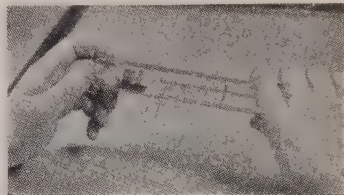
A. J. Sadler & P. A. Turner: The Silicon Controlled Rectifier. {A. E. I. Engng, Vol. 1, No. 3, March, 1961, p. 124~130}

シリコン制御整流器についてはすでに多くの文献が紹介されているが、これはイギリスの AEI Research Laboratory で開発され、AEI Valve and Semiconductor Factory で量産にはいった 10 A 定格のシリコン制御整流器についての概説である。

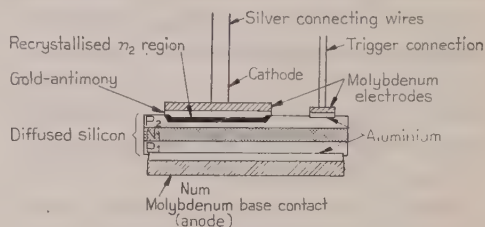
PNPN 構造を作る方法として (a) 拡散法, (b) 合

金法, (c) 拡散法と合金法の組み合わせ, (d) 成長法, (e) メルトバック法, などがあげられるが, AEI の制御整流器は拡散法と合金法の併用によっている。

高純度のアルゴンを封じた石英管中で、N 形シリコンの薄片と P 形不純物 (ガリウム) を 1,200~1,300°C に加熱し、PNP 構造をつくる。(第 1 図) この際、P 形不純物が薄片の縁で深く拡散するので、グライディング、カッティングまたはエッチングによって縁を落とし、どちらの方



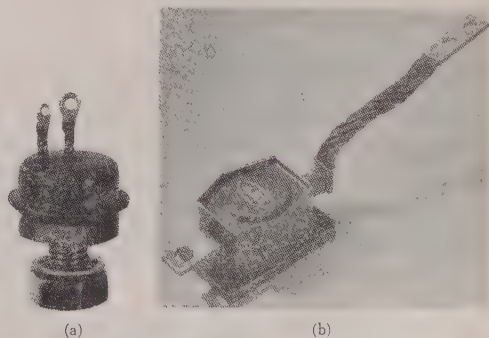
第 1 図



第 2 図

向にもインピーダンスの高い PNP 構造とする。4 番目の N 形層は金アンチモン合金を用い合金法によって作られる。金アンチモンの浸透する深さは製品の特性に微妙な影響を与えるので、この課程は真空あるいは不活性ガス中で行われ、温度および時間が精密に制御される。第 2 図はこの制御整流器の断面図で、中央の N1 領域がはじめのシリコンの部分である。動作、特性など従来紹介されているものと特に異なる点はない。ブレークオーバー電圧の温度による

変化は約 130°C までほとんど見られず、それ以上の温度になると急激に減少して約 180°C で 0 V になる。



第 3 図

高温では阻止領域でのインピーダンスの減少もみられるようになる。

第3図は製品の外観で、(a)は10 A 定格のもの、(b)は100 A 定格の試作品である。

サイラトロンと比較した場合の利点、応用回路などについても述べている。(北村委員, 鶴島稔夫訳)

## 6・456. 電気接点に発生する 電磁力の研究

A. C. Snowdon: Studies of Electrodynam-  
ic Forces Occurring at Electrical Contacts.  
[Applic. and Industr., No. 53, March, 1961,  
p. 24~28]

電気接点に大電流を通電したときに発生する電磁力の知識は接点装置の設計に重要であり、過去においてこの分野で Holm が接点部で電流がしぼられることにより接点に反発力が生ずることを示した。さらにこの電磁力の理論と計算は著者によって Milwaukee, Wis. の Cutler-Hammer Laboratories での研究をとおしてなされた。

本論文はその研究の続きであり、理想的な状態の接触子の反発力を計算し、それと実験結果を論じている。

反発力を算出するには二つの方法があり、その一つは Holm のそれと同じで、接点部の電流の流れから直接力を算出する方法、もう一つはエネルギー概念に基づき、変位法則より力を算出する方法である。しかしいずれの方法によっても算出された力の式は同一であり次式となる。

$$F = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{A}{a}$$

ここで、 $F$ : 電磁力、 $I$ : 通電電流、 $\mu$ : 接触子材料の透磁率、 $A$ : 接触子の半径、 $a$ : 真実接触面の半径

なお真実接触面半径  $a$  は接触圧力と接触子材料の硬さによって決まる。したがって反発力は接触圧力、接触子の直径、接触子材料の硬さと電流の大小によって決まり、接触子が軸に対して対称と考えたときには、接触子表面の曲率には無関係である。

第1表

電 流 (A)	力 * (オンス)		差 異 (%)
	計 算 値	実 測 値	
5,500	65	80	19
6,000	70	72	2
5,100	52	66	21
5,700	65	"	2
5,600	61	64	5
4,800	44	45	3
4,200	36	"	20
5,000	49	61	"

\*: 接触子が通電中に離れないように保持する接触圧力

次に 1 in 直径の銅接触子の電磁力の計算結果と実験結果を第1表に示す。

これによると計算結果と測定結果の間に約 20 % の差異がある。

この差異は、真実接触面の半径  $a$  の測定誤差とか接触子の質量と接触圧力の割合の大小によって生ずるものと考えられる。

最後に著者は計算と実験の間の差異および接触子質量と接触圧力が反発力におよぼす影響について、詳細に解析することが必要であると述べている。

(平本委員, 大森豊明訳)

## 6・457. 変電所の絶縁保護用 線路端ギャップ

T. F. Watson, Jr. & R. Hiatt: Line  
Entrance Gaps for Protection of Substation  
Insulation. [Pwr Apparatus and Syst., No.  
53, April, 1961, p. 43~54]

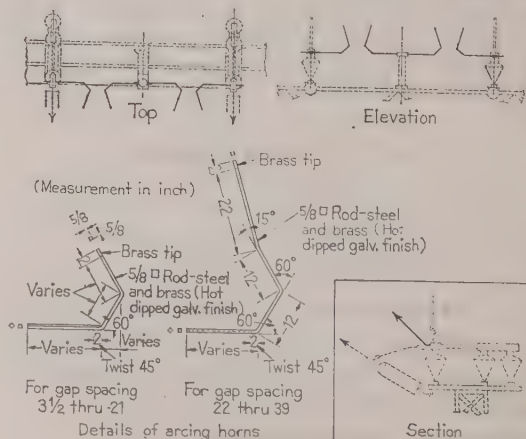
保護ギャップは、変圧器の近くに避雷器を設置した変電所を保護するのに経済的な補助手段であって、保護ギャップの絶縁保護に関し種々の批判がなされたが、近年、絶縁協調という点から再び関心がもたれてきた。

著者らは、1927 年以来保護ギャップを実系統に使用し、その経験より保護ギャップは 345 kV 系統へも使用できるとしている。

ギャップの設計としては、第1図のようなH形のものを用い、その  $V-t$  曲線、商用周波フラッシュオーバー電圧などの特性は AIEE の標準棒ギャップのものと一致することを示している。

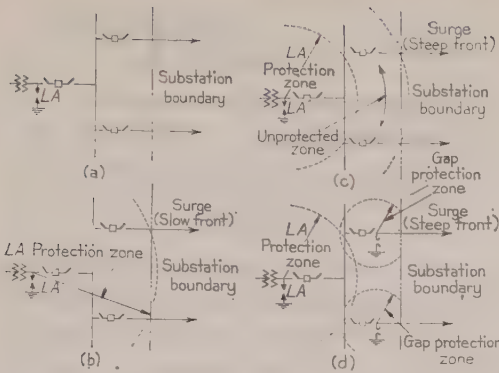
さらに 345 kV 系へ応用するため、 $V-t$  曲線、コロナ雑音、ラジオ障害電圧などの測定を行った。

保護ギャップを使用するには避雷器と協調をとり、第2図のような急しゅん波頭インパルスで避雷器で保護できない範囲を保護し、かつ、線路のシャ断器が開

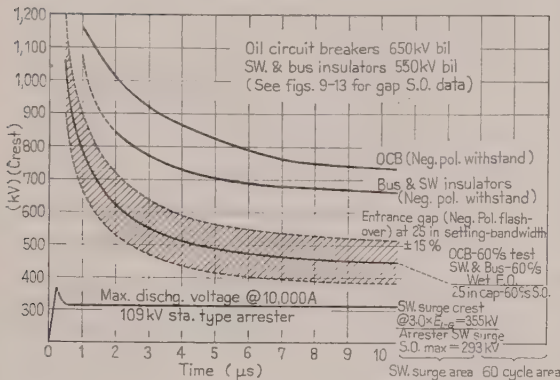


第1図





第 2 図



第 3 図

路のとき避雷器から切り離された部分の絶縁保護を行わせる。

保護ギャップと避雷器の価格を比較すると、保護ギャップのほうがはるかに安く、保護ギャップの特性のばらつき、消弧能力のないことなどを充分考えに入れてうまく応用すれば有用なものである。

保護ギャップのフラッシュオーバー電圧は、 $\pm 15\%$  の裕度をみて変圧器の絶縁レベルより下にくるようギャップ間隔をセットする。

第3図は 138 kV 系における変圧器絶縁と保護ギャップとの  $V-t$  曲線であり、絶縁協調を行っていることを示している。

結論として、

- (1) ギャップをうまく設計し裕度を見込むと、避雷器で保護できない部分の絶縁保護を行いうる。
- (2) インパルスを保護し、開閉サージにはあまり動作しないようにギャップ間隔をセットする。
- (3) 設置費用は避雷器の 20% である。

などを述べ、保護ギャップの有用性を力説している。

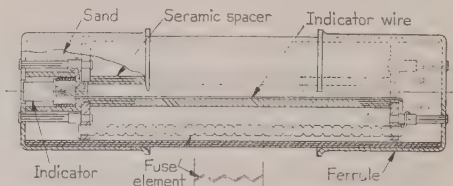
(山田委員, 桑原 宏記)

## 6・458. 新しい電動機起動器用 限流ヒューズ

F.L. Cameron: A New Current-Limiting Motor-Starter Fuse. [Pwr Apparatus and Syst., No. 53, April, 1961, p. 89~94]

電動機起動時には全負荷電流の 6 倍もの起動電流が流れるので、起動器用のヒューズは充分な熱容量をもつことが必要である。また電動機の起動停止に対して、起動電流による熱的な伸縮のくり返しによって、破損したり切れたりしてはいけない。ヒューズ要素が大電流しゃ断に最適であるということは小電流に対しても効果的であるということにはならないし、大きな負荷電流を効果的に通電し、しかも充分なしゃ断特性を有しなければならない。限流ヒューズが有効に動作するためには短絡電流の波高値に達する前に電流の急しゅんな立上がり過程において溶断しなければならない。このような特性を試験するには衝撃電流発生器を使用し、コンデンサおよび回路のインダクタンスを適当に選択することによって所望の電流しゅん度を模擬することができる。たとえば  $60\mu\text{F}$  のコンデンサと  $640\mu\text{H}$  のインダクタンスを直列にしてコンデンサ充電電圧約 33 kV にて 50 A/ $\mu\text{s}$  の電流しゅん度が得られる。

2,000~5,000 V 定格の限流ヒューズ開発のために、各種のヒューズ要素、各種のケース、各種の充てん粒子について試験が行われた。電動機の



第 1 図

起動を模擬した試験装置 (Load cycle device) が考案されて、電動機の起動時間を示す数秒間起動電流に相当する電流を流し、数分後に定格電流に減少させ、ヒューズがこのような電流を流通できるかどうかをくり返し試験した。新しく開発されたヒューズは第1図に示すとおりであって、ヒューズ要素は厚さ 0.005 in, 幅 1/4 in の銀の帯金で 1/4 in の間隔にて V 形の切目が切ってある。要素はケースの壁の近くに放射状に配置され、熱源と低温部間の熱抵抗が最小になるようにくふうされている。要素はさらに薄い刃の面が放射状になるように配置されている。このために、充てん粒子中に個々のアークによって生じる金属溶融物が混じって発生したアーク電圧が早く減少する傾向を防いでいる。新しい NEMA の規格にしたがって、しゃ断電流は 40,000 A と定められているが、古い規格にした

がえば、非対称分を考えに入れて、非対称率 1.6 とすれば 64,000 A となる。(山田委員)

### 6・459. 所要面積の少ない注形樹脂 絶縁中電圧配電盤

H. Flöth u. G. Leonhardt: Gießharzisolierte Mittelspannungs-Schaltanlagen mit sehr kleinem Raumbedarf. [Elektrotech. Z.(E.T.Z.)-B, 13. Jahrg., Heft 7, 3. April, 1961, S. 166~172]

最近進歩した新らしい絶縁材料、特に注形樹脂を使用したことにより配電盤の大きさが非常に節約されたことを報告している。

新しい樹脂を使用した特徴を最大限に発揮させるには、これまで行われていたようなすでにでき上がった部分部分を集めて一つの箱に入れるという考えから脱却して、おのおのの部品を目的に合わせて製作することが必要である。また樹脂を使用した場合の経済的な問題も見逃すことはできないが、高価な樹脂を使用することによる価格の上昇は、それによって装置が小さくなることで補われて結果としてあまり変化しない。

このような考えで 10 kV と 20 kV の配電盤が製作された。しゃ断部は注形樹脂のパネルに各相 150 mm の間隔で取り付けられ、しゃ断器 CT, PT および断路部がまとめて台車上にのせられている。運転時電圧の印加される部分はすべて絶縁物でおおわれているので気中で外箱との間に絶縁距離をとる必要がなく、これによって 10 kV および 20 kV の配電盤のパネル幅を 550 mm に低下させ得た。個々の部品の絶縁にはエポキシ注形樹脂に石英粉を混入したものを用いられ、注形部品の形状の適正化、真空注形の利用、適当な熱処理などにより充分な機械的強度および電気絶縁性を持たせることができた。

各相導体と絶縁樹脂との間、または絶縁樹脂間に存在する空けきは絶縁物中に電位分布を適正にするための金属を埋設したり、空けきを弾性絶縁体で満たすことにより部分的な電界集中が生じないようにされた。各相間の間隔が狭いため絶縁部品相互の取り付けのすき間は互にかみ合う突起を付けることにより表面距離を長くしている。

しゃ断器には他力形油しゃ断器(形式 LOS)が用いられ、配電盤の奥行きを短くするために駆動装置はしゃ断器の上部に設けられている。

第 1 表 しゃ断容量 500 MVA の配置盤の  
所要面積の比較

電 圧 (kV)	開閉器配電盤		メタルクラッド 配電盤		注形樹脂 絶縁配電盤	
	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(%)
10	8.26	332	2.48	100	1.44	58
20	12.68	322	4.17	"	1.56	37.5

(平本委員, 清国宣明訳)

### 6・460. ヒューズの動作を算定する ための解析的方法

Colin Adamson & M. Viseshakul: An Analytical Method for Predicting the Performance of Semi-Enclosed Fuses. [Proc. Instn Elect. Engrs, Vol. 108, Pt. C, No. 13, March, 1961, p. 2~11]

断面および形状の異なったヒューズについて、そのおのおのの電流-時間特性を知るため解析を行い、さらに実際の計算例およびそれと実験値との比較を行っている。

一般に導体に電流が流れるときは Verdet によれば

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \lambda(\theta - \theta_0) + a$$

ただし、 $K \equiv kA/Ac\rho$ ,  $\lambda \equiv Hp/Ac\rho$ ,  $a \equiv I^2/JA^2c\rho\sigma$

ここで、 $\theta_0 - \theta$ : ヒューズの温度上昇 (°C),  $k$ : ヒューズ材の平均熱伝導率,  $A$ : 断面積,  $c$ : 比熱,  $\rho$ : 密度,  $H$ : ヒューズとそれをおおっている物質間の熱伝達係数,  $p$ : 断面の周長,  $I$ : 電流,  $J$ : ジュール定数,  $\sigma$ : 室温およびヒューズ材の融点における平均の導電率

二三の初期条件を考慮し, Straneo's による熱定数の研究に基づき解析を行う。まず温度  $\theta$  は時間に無関係な定常温度  $T$ , 時間および距離に關係する温度  $\psi$  によって

$$\theta \equiv T + \psi$$

と表われ、したがって最初の関係から次のように表わされる。

$$0 = K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \lambda T + a$$

これらの関係から、たとえば一様断面の板ヒューズの場合、ヒューズ的一端よりの距離  $x$  における温度  $\theta_x$  は通電開始後  $t$  秒後には

$$\theta_x = \frac{4b}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu^2 l^2 \sin \frac{(2n-1)\pi x}{l}}{(2n-1) \{ (2n-1)^2 \pi^2 + \mu^2 l^2 \}} \times \left[ 1 - \exp \left\{ -\frac{\lambda t}{2} - \frac{K t}{2} (2n-1)^2 \frac{\pi^2}{l^2} \right\} \right]$$

ただし、 $\mu \equiv \sqrt{\lambda/K}$ ,  $b \equiv a/\lambda$

この式からヒューズ材料の融点が与えられれば、そのヒューズについて電流-時間特性が得られる。

ヒューズの断面積が途中 1 個所で変わる場合は、ヒューズに並列にインピーダンスがない場合について(たとえば、しゃ断器のトリップコイルなどが並列にはいった場合は問題は別になる)も同様な初期条件から、時間および電流に関しヒューズ各点の温度を求める式が得られる。

さらにまた断面積が 2 個所で変わる場合についても同様な条件を考慮して計算を行い、最終解が得られている。

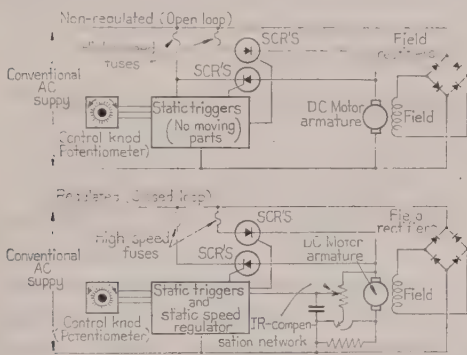


上記三つの例について、実際問題の計算順序、計算例およびそれと実験結果との比較が行われている。この方法によりヒューズの種々の寸法を適当に選ぶことにより、任意の電流-時間特性のヒューズを得ることができる。(平本委員, 宮上行生訳)

### 6-461. SCR 使用の逆転可変速直流電動機制御

Baruch Berman: Semiconductors Reverse Variable-Speed D.C. Motors. [Product Engineering, Jan. 30, 1961, p. 29~32]

工作機械用直流電動機の各種用途に応じた円滑なる速度制御は従来、機械的開閉器を使って電動機の極性を変え、鎖錠装置をつけて一応満足すべき可逆運転を実施していた。しかし可逆転制御で段速度制御はまぬがれないところであったが、シリコン制御整流素子(以下 SCR と略記)の出現により長年の直流電動機可逆運転が理想に近い、段速度制御のない円滑なる可逆運転が試作された。本文は 1/2 HP, 1,000 rpm の直流



第 1 図 リレー回路なし, SCR 利用の可逆運転方式

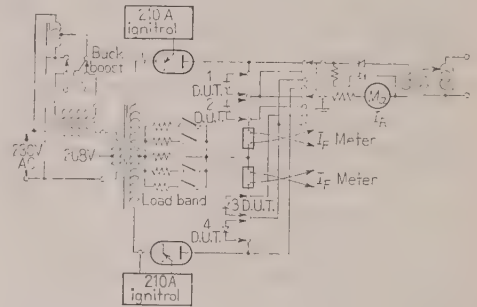
電動機を第 1 図に示すように逆, 並列の SCR に接続し, 電位差計を回転させることにより, 遠方から容易に正, 逆転ができることを実証したものである。そしてこの方式は直流電動機の電機子以外は全く回転部分はなく, かつ無開閉器回路であること。電動機の減速期間に過渡的ブレーキ力が起こり, 電位差計を早く動かせば動かすほどダイナミックブレーキ力は大きくなる特長をもっている。この回路方式の制限条件といえは SCR の最大許容サージ電流値と SCR の接合体部温度を 150°C 以下に保持しなくてはならないことである。またトルク-パーセント 回転速度曲線は一般用のもので 1/4 HP の直流電動機の場合 2% の変動率と発表されており, かつ, この新 SCR 利用の可逆運転方式では波形率は全速時 1.55 であり, 低速度になるにしたがって本質的に小さくなり, 最終値は 1.2 であることが曲線によって示されている。

(山田委員, 加藤又彦訳)

### 6-462. 大電力用半導体整流器の試験装置

Gerald Randolph: An Equipment for High Power Rectifier Evaluation. [Semiconductor Products, March, 1961, p. 52~54]

最近 5 個年間に大電流, 高電圧半導体整流器の一般的应用において遭遇した技術上の矛盾と改変とは著しいものがあり, 製造者, 使用者ともにかかる装置の試験の問題に頭をなやましている。この半導体整流器は 1 V 級の順電圧降下 (内部損失) と定格 PIV 値をもっているため, 現在は前者に対しては 5~200 A/セル 通電可能のことならびに制限抵抗値を回路要素として必要とし, また PIV 定格は 50~1,500 V の測定可能なことが必要条件である。試験回路としては全波整流回路で第 1 図に示した方式を筆者は推奨しているが,



第 1 図 Simplified schematic of the test set

この回路を構成するにあたって 1 週間に 40 h, 年間 50 週間使うと仮定し, 150 A/平均値, PIV 500 V の整流素子 2 個が第 1 図に示したような状況で試験されるとすれば, 試験回路内で大約 160 kW の熱が発生する。そのときの電力量は 310,000 kWh, 0.02 ドル/kWh として, 6,200 ドル/年間が消費される。これがエアコンディションの部屋内で実施されるとして, その経費を合計すれば 12,000 ドルにもなる。この第 1 図の試験回路ではイグナイトロン整流器を使用して試験用変圧器容量を PIV 試験時 [(1) 式] と順特性試験時の変圧器容量 [(2) 式] とに分けてそれぞれ決めている。

$$\frac{E_{PIV}}{2} I_{\max} \frac{\pi}{2} = 1.1 E_{PIV} \dots \dots \dots (1)$$

$$1.1 \times 2 \times 40 V \times I_{aV} = 88 I_a \dots \dots \dots (2)$$

また, 図中中央部の抵抗に発生する損失は  $2 \times 1.1 \times I_{aV} \times E_{rms}$  であって  $E_{rms} \approx 30 V$  である。さらに本文中には順, 逆電流のオシログラム波形が示してあり, かつ試験回路各部の入力, 出力電圧, 電流定格と計測器の仕様が記してある。

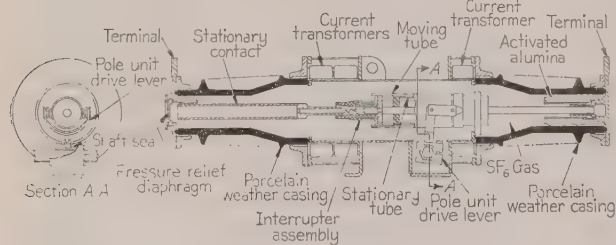
(山田委員, 加藤又彦訳)

6・463. 新しい低圧用  $\text{SF}_6$  シャ断器

G. J. Easley: A New Low-Voltage  $\text{SF}_6$  Power Circuit Breaker. [Westinghouse Engr, Vol. 21, No. 3, May, 1961, p. 82~83]

$\text{SF}_6$  を使用した最初の超高压用 230 kV のシャ断器が 1960 年 10 月に Pennsylvania Power & Light Co. の系統に設置されたが、そののちさらに新しい設計の中容量 (46 kV, 500 MVA) のものが 1961 年中ごろに Georgia Power Co. の系統に設置されることになっている。

この新しい設計のシャ断器は Puffer 形の消弧機構を備えたもっとも簡単な融通性のある  $\text{SF}_6$  ガスを有効に使用できる方式であって、約 50 psig の圧力を使用している。ガスの流れは接点の開離と同時にシリンダの中においてピストンが動き、小孔からガスを吹き出す。このガスがアーク中へ流入して消弧する。Puffer 形の消弧機構は使用される Puffer の大きさおよびそれを駆動する機械力によって広い範囲の電圧およびシャ断電流の階級に使用できるが、最初に試作された 10 in の Puffer を直列に組み立てた 138 kV, 10,000 MVA のものは試験の結果良好なシャ断特性を示したが、10,000 MVA のシャ断のためには Puffer を動かすには非常に大きな機械力が必要であり、このような大きな定格のものには実用的でないことがわかった。しかしながら、低い電圧 (34.5~69 kV) のものに対しては Puffer 形は理想的である。



第 1 図

第 1 図は消弧部の断面図であるが、本体はおもに鉄のケースに内蔵されており、Puffer の機構は右端がタンクに固定された絶縁されたピストンと、その上部を動く絶縁されたシリンダとからなっている。シャ断器が開くときには操作リンクによって加速ばねが Puffer シリンダを動かし、固定コンタクトは右方に動く。アークは突出している補助コンタクトに急速に移動する。Puffer の移動によってガスの圧力は上昇し、小孔が固定コンタクトの端から引きはじかれたときにガスは小孔から吹き出す。右手にある活性アルミナのはいった袋は、腐食を防ぐために再結合しないアークによって発生した少量の物質を吸収する。

鉄のケースの外側には 2 個の CT が設けられており、

シャ断器中の事故検出のため差動継電器方式にも使用できる。

この形のシャ断器のすえ付方式は、三相が水平に取り付けられ、その下部に操作機構があり、全体の設置面積が非常に小さくなっている。(山田委員)

7・464. ペンシルバニア電力会社の  
460 kV 送電線における雷実測

D. J. Heller & S. J. Polaski: Penelec 460 kV Line to Collect Lightning Surge Data. [Elect. Wld, Vol. 155, No. 11, March 13, 1961, p. 55~56]

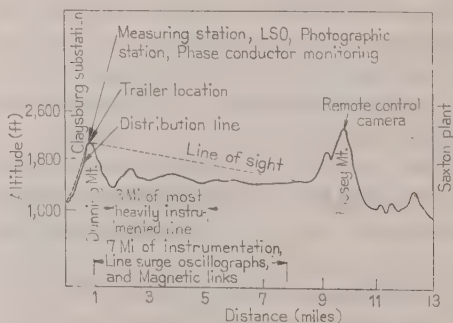
最近運転を開始したペンシルバニア電力会社の 460 kV 送電線は次のような測定を始めた。

- (1) 雷電流の波形および波高値。
- (2) 線路の雷撃数とその地区の年間雷雨日数の関係。
- (3) 鉄塔または架空地線への直撃雷および近接雷により導体へ誘起する電圧。
- (4) 各導体の高さおよびシャへい角によって生ずるシャへい失敗の確率。
- (5) 塔脚接地抵抗の効果。

これらのデータは最近 750 kV の電圧によって運転を開始した Gen. Elect. 社の試験送電線のデータと比較することになっている。

この地区の年間雷雨日数は比較的高い (38~40) ために線路導体の配置とフラッシュオーバー回数の関係を研究するのにつごうがよい。なお線路は 14 種類の支持柱 (木柱 5 基、鉄塔 3 基および円筒鉄柱 3 基) が使用されている。これら支持柱は高さ 60~130 ft であり、そのシャへい角は種々異なっている。塔脚接地抵抗は 22~250  $\Omega$  である。

ペネレック 460 kV 送電線は第 1 図に示すように Dunnig Mt. から東端の Tussey Mt. まで架設してある。主測定室は Dunnig Mt. のトレラの中であり、この中には雷実測用のオシログラフ、高速度および低速度ボイスカメラ、

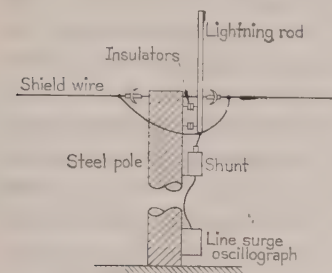


第 1 図



電界強度記録器および Pierce の放電度数計が備え付けられている。

この線路には特に雷実測のために考案された自動オシログラフが取り付けられている。このオシログラフは直径 1 in の陰極線管の波形を一定速度で移動する 16 mm フィルムで撮影する装置であり、雷雲による



第 2 図

1960 年は主としてこの線路の建設に費やされたが、1961 年および 1962 年の夏には 2 名の技師が常駐して雷実測を行い、超高圧送電系統の設計に必要なデータを数多く測定することになっている。

(井手委員, 村野 稔訳)

## 7-465. Leadville の超高圧試験送電線

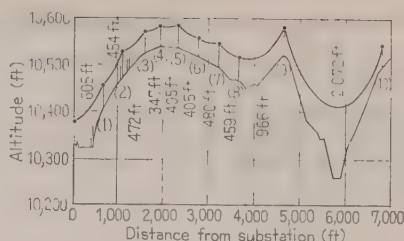
L. M. Robertson & J. K. Dillard: Leadville Test Project EHV at High Altitudes. [Westinghouse Engr, Vol. 21, No. 3, May, 1961, p. 66~71]

過去 15 年間多くの EHV 試験送電線が作られて、EHV 送電に関する問題解明のために貢献してきたが、その多くは海面レベルのものであって、10,000~15,000 ft の高地における資料を得ることはできなかった。高地における資料を得るために Public Service Co. は Westinghouse 社と共同にて 1955 年に Leadville に試験送電線の建設を始め、1957 年から試験を開始した。

Public Service Co. の系統は大部分が高地にあり、このような送電線では建設、運転、保守が非常に困難である。送電線建設のためには鉄塔材料は軽く、組み立てが容易でなければならないが、荒天候に対して充分耐えなければならない。このためにコロナ損やラジオ障害に対してよい特性の最小導体を選ぶ必要がある。

高地においては空気密度が低く導体周囲の空気が電離しやすく、したがってコロナが発生しやすいが、一方、空気の温度が低いので、限界電離電圧は上昇する傾向にある。送電線周囲のほこりや土の微粒子および導体表面の傷は不均一な電界を作る原因となり、また汗損大気中では導体はコロナ損の量に影響のある Black coating を生じる。

Leadville の装置は異なった種類の導体のコロナ損を



第 1 図

測定できるように、各相はそれぞれ別個に単相試験用変圧器によって加電できるようになっており、変圧器のタップおよび一次電圧を調整することによって 100~320 kV (対大地) に変化できる。

第 1 図に試験送電線の経過地の概要が示されている。コロナ発生電圧は Peek らの式によれば  $e_0 = K\delta$  ( $\delta$  は空気密度係数) と表わされているが、Leadville の測定結果によると、 $\delta$  の  $1/2 \sim 1/3$  乗に比例することになり、このことは高地においては、より細い導体を使用できることを意味する。また相対湿度はコロナ損にはそれほど大きな影響がないこともわかった。

RI に関しては定在波パターン、減衰、ラジオ周波数インピーダンスおよび空気の清濁と RI の影響が測定された。

Leadville における結果は理論的計算結果と一致しないし、低地におけるいままでの研究結果とも比較することは困難である。試験より得られた結果によれば高度の影響はいままで信じられたように相対湿度に対して 1 乗に比例するのではなく、 $1/2$  乗に比例することがわかった。

Leadville における 4 年間の試験において将来の送電系統の費用を節減することに役立つ充分なデータが得られた。しかし同時にコロナ損や RI に関して多くの疑問点も発生したので、これらの究明のためにさらに試験が続けられることになっている。(山田委員)

## 8-466. 街路照明とその将来の概観

W. R. Stevens & H. M. Ferguson: A Survey of Street Lighting and its Future. [Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 108, Pt. A, No. 38, April, 1961, p. 127~139]

街路照明に関する公認の原理がイギリスの標準規則とともに検討される。

(1) 主要道路の照明 (A グループ) 大別して cut-off 照明と non cut-off 照明とに分けられ、non cut-off 照明はさらに高角ビームと並み角ビームとに分類される。各方式のおもな特性は第 1 表のとおりで、イギリスでは各方式とも光源の高さは  $25^{+5}_{-1.5}$  ft である。

照明の方式を選ぶにあたって考慮すべきもっとも重

第 1 表

	高角ビーム	並み角ビーム	cut-off
最大光度の鉛直角	80°	75°	70°
最大光度の方向より上方に出る光束	全光束の 33% が水平方向より上方に出る	鉛直角 86° より上方の光度は最大光度の 1/2 より小	鉛直角 80° 以上では微小
輝き模様	尾部が長い	尾部が破い	尾部なし
まぶしさ	最大	減少	微小
光源の間隔	120 ft 平均, 千鳥	120 ft 平均, 千鳥または一列	90~100 ft 平均, 一列
費用	最低	中間	最高

要な要素は次の項目である。

(a) 明るさ 主要道路については、直線道路 100 ft あたり 2,600~7,000 lm が推奨され、多くの近代的な交通道路では上記の値が 4,500~6,500 lm である。

(b) まぶしさ イギリス方式のもっとも重要な相違は、まぶしさおよび路面上の輝き模様に対する考え方である。すなわち、イギリスではかなりのまぶしさを普通とし、水平方向より下方の平均光度に対する最大光度の比率を 6 以下にしている。光色もある程度まぶしさに影響し、たとえば水銀ランプの照明器具は同様なナトリウムランプの器具にくらべてまぶしさを感ずる。

(c) 輝き模様 主要道路照明の第一の目的は、道路上の物体がどんな位置にあっても、明るい背景に対してははっきりした影として見えるように路面の輝度を一様にするることである。路面の輝度分布は路面の特性、照明器具の配光および光源の間隔と高さの比によって決まる。従来のなめらかな路面にかわって最近の道路はストリップ防止のため、粗面で、暗色のものになる傾向にあり、路面の輝度はこれまでの 1/2 以下に減少している。

(d) (光源の間隔)/(光源の高さ) non cut-off の千鳥方式に対してこの値は 5, cut-off 方式では道路中心一列で 4 が推奨される。曲り角では cut-off 照明を除き、光源間隔は減ぜられ、曲り角の外側に配置すべきである。

(e) 色 色は低輝度の場合、自動車の運転手にとってあまり重要でないが、歩行者には特に商店街においては重要である。もっとも経済的な照明は普通、演色の悪い光源から得られ、照明器具も小形となる。このため水銀ランプあるいはナトリウムランプが用いられる。けい光灯照明は重要な街道や商店街に多く増えてきたが、最初の設備費が高く、昼間の外観が悪い。タングステン電球は効率が低く電力消費が大きいために主要道路ではあまり用いられない。

(f) 費用 照明の要求者が光の質、色、まぶしさ、輝き模様、外観に関してどれだけ予算があり、どの程度妥協できるかを決めなければならない。

(2) 副街路の照明 (Bグループ) 建込んだ都会地の街路照明用 B<sub>1</sub> グループと、並木や広い歩道、庭のある郊外住宅地の照明用 B<sub>2</sub> グループに分けられる。いずれも光源の高さは 15 ft で間隔は 120 ft をこえず、配置は千鳥式である。B<sub>1</sub> グループは A グループに準じて設計され、cut-off 照明は用いられない。明るさは直線道路 100 ft あたり 600~2,500 lm で通常、ヘッドライトなしで車を走らせることを考えていない。副街路では主要道路よりも光色が重要であり、タングステン電球が広く使用されている。

(3) 将来 主要道路では光源の(間隔)/(高さ)を 4:1 以下とし、光源の高さを 30 あるいは 35 ft に増加する。明るさは直線道路 100 ft あたり 10,000~20,000 lm にあげる。副街路照明では明るさを直線道路 100 ft あたり 2,000~5,000 lm にあげる。

これらの大部分の問題は技術的なものではなく経済的なものであるが、現在の照明設備費は道路製作費の 2~3% であり、照明費は事故の減少で補償される。

(野中委員)

## 10・467. エコー 1 号のアンテナ駆動方式

R. Klahn: Antenna Steering for Echo I.  
[Bell Lab. Record, Vol. 39, No. 4, April, 1961, p. 126~129]

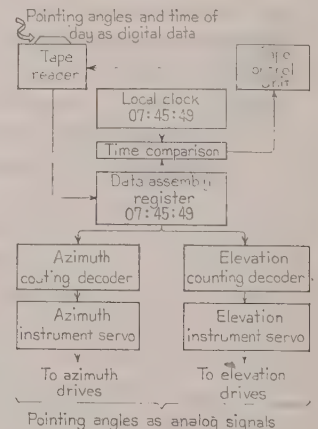
1960 年 8 月 12 日通信衛星 Echo I 12 より衛星を仲介とする通信が初めて行われ、将来の電話、テレビジョンなどの遠距離通信の可能性を示した。通信衛星の問題点は追尾情報をいかに送るかということと、この情報により衛星がアメリカ上にあるとき、空中線を絶えず衛星のほうに向けることであった。

衛星の運動は太陽をめぐる遊星と同様なものであり、数個所の衛星の位置の測定により、将来位置を推測することができ

る。

衛星の位置は世界中に散在する Minitrack 受信所で観測され、中央に送られデジタル計算機で軌道が算定された。空中線の向く方向と、通過時間の情報は数百マイル先の Holmdel にある空中線に送られ、ここにたくわえられる。通過時間になるとこの数字はデ

ータ処理機を通して方位角、高度角を表わす電気信号。



第 1 図



に変えられ空中線を駆動する。

角度が振幅の変わるパルス列で与えられるならば、衛星がアメリカを通過する 20~25 min の間には、その数量は多大なものとなるから、経済性が重要となるシステムでは変換は複雑となるが、角度の変化を表わす曲線の曲率で表わしたほうがより少ない量ですむ。Echo I では角度の変化を表わす曲線を短線で表わすことが用いられた。

中央からテレタイプで送られた情報は衛星の通過時間が近くなると、データ処理機に入れられ、この機械は実際の時間とテープの時間とを同期させる。空中線の角度はカウンタで電気信号に変えられ、別のカウンタで 1s に 50 回の割合で空中線の角度が更新されるようになる。この信号はサーボループを通して空中線を駆動する。

角度を表わす 4 ビットの他に Parity check のために 1 ビットが加えられ、誤差情報の混入率は 10 % 以下であった。

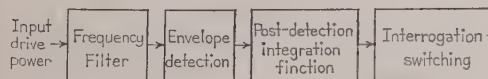
この実験によりデジタル計算機による衛星追尾が可能なが示された。(中原委員、久野治義訳)

### 10・468. ドップラ信号の検出に おける磁性体の利用

R. J. Metz & J. G. Fay: Magnetics in Doppler Signal Data Extraction, [Commun. and Electronics, No. 53, March, 1961, p. 33 ~43]

あるターゲットを表わすのに方位角と距離が用いられるが、方位角は空中線により規定されるので距離だけを考える。

距離の変化率  $\dot{R}$  およびある特定のターゲットを表わすためにそのターゲットの現われそうな位置  $\Delta R$ 、この二つがターゲットを表わすのにもっともよいパラメータと考えられる。 $\Delta R$  は送信パルス間を時分割し、その出力をおのおの異なったチャンネルに分離することにより、また  $\dot{R}$  はそのおのおののチャンネルに一連のフィルタをそう入することにより分離できる。 $\Delta R \times \dot{R}$  マトリクスに受信信号があるかないかを検出するには、そのおのおのを調べなければならないが、これに磁性体を用い高速度のスイッチングを行わせる。



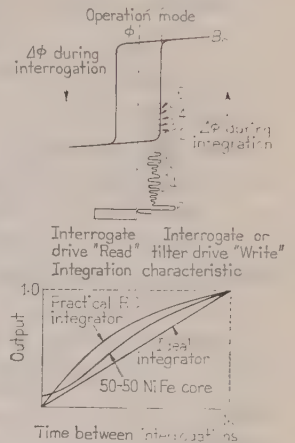
第 1 図

フィルタにより分けられた信号は信号の大小により包絡線検波がなされ、ある期間の信号の大小により磁化された磁性体を読み出し、あるターゲットについて一連の情報として出す。このターゲット記憶素子として

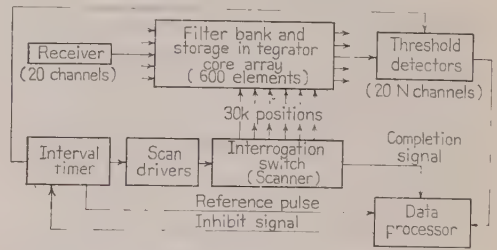
は磁性体のほうが RC 素子よりもすぐれている。

実際に作られたセットのフィルタ部および読み出し部の構成図は第 3 図のごとくであるが、組み立てられたものは第 4 図のようなものである。

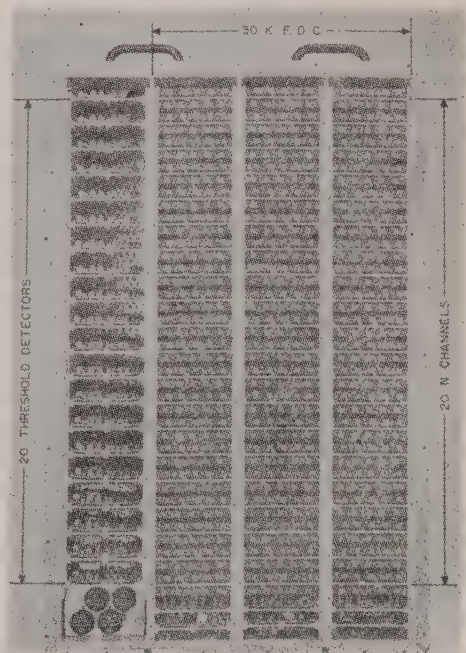
コアを使うことにより、形状重量ともに減ずることができる。上記の各部についてその各部のもつべき性格および回路構成について詳しく述べられている。



第 2 図 Storage integrator core concept



第 3 図 Filter bank and interrogator block diagram



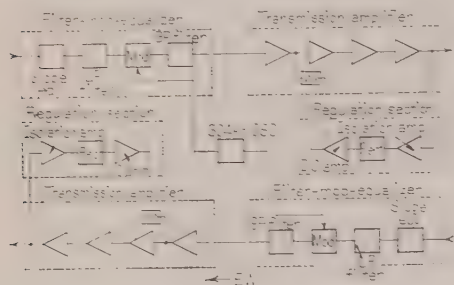
第 4 図

(中原委員、久野治義訳)

## 10-469. トランジスタ化搬送中継器

C. G. Griffith: A Transistorized Cable Carrier Repeater. [Commun. and Electronics, No. 52, Jan., 1961, p. 675~680]

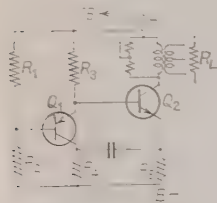
中距離搬送方式の中継器をトランジスタ化することについて報告している。方式の概要は 24 チャンネルの群別 4 線式で、低群 40~140 kc, 高群 164~264 kc をそれぞれ送受に用い、中継間隔は 8 mile, 回り込み混話を防ぎ、かつ線路の減衰ひずみを補償するためにフロッギングを行う。またパイロットは低群 96 kc, 高群 208 kc で、これにより中継器に AGC の機能をもたせている。中継器の構成図は第 1 図のとおりである。



第 1 図

中継器内では、入力信号は Filter-mod-equalizer 部に導かれて、前置等化、周波数変換される。この部分のそう入損は約 13 dB である。

増幅器はプリアンプ段、AGC 段、励振段、電力段の 4 段からなる。電力段以外はドリフトトランジスタをエミッタ接地で用いる。AGC 段はこの段の並列帰還路にサーミスタを入れて AGC を行う。電力段は第 2 図のような回路で、ドリフトトランジスタと、4 W の N-P-N シリコントランジスタからなる複合トランジスタで、こうすれば非直線ひずみが減少し、パワートランジスタの変動を抑えることができ、また電力利得大で、入力インピーダンスが大きいから、第 3 段目の励振段は大きい電流を必要としないなどの利点がある。



第 2 図

パワートランジスタの出力は、さらにひずみを減少するためと、出力インピーダンスを一定にするために、その一部をブリッジ帰還している。

さらに、中継器の出力の一部は AGC のためにバッファアンプで増幅、整流され、基準電圧と比較しその差が直流増幅器で増幅され、サーミスタのヒータに加えられる。AGC 増幅器の利得は入力レベルとほぼ同

様に、かつ反対方向に増減する。このようにして入力の  $\pm 8$  dB 変化に対し、出力は  $\pm 1$  dB に保たれる。

中継器の必要電力は 4 W, 電流、電圧はそれぞれ 100 mA, 40 V で、E-W 方向と W-E 方向の各重信回線を往復線路にして直流を直列送電する。送電点より両方向に 3 中継器、計 6 中継器に送電される。

中継器は中継架にプラグインされるか、またはガス封入した容器に入れて地下に埋設される。

(沢田委員、松浦芳久訳)

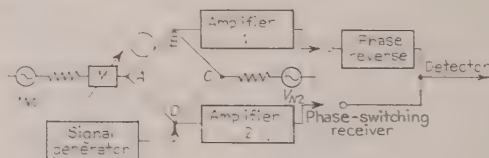
## 10-470. 電波天文学における雑音測定

F. G. Smith: R. F. Switching Circuits and Hybrid Ring Circuits Used in Radio Astronomy. [Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 108, Pt. B, No. 38, March, 1961, p. 201~204]

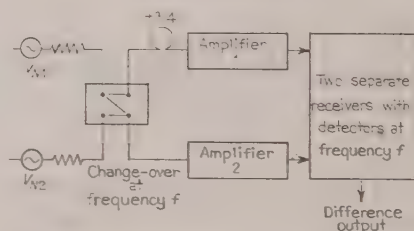
本論文は前半、切換スイッチ、ハイブリッドリングその他の素子回路に理論的検討を加え、後半、それらを組み合わせた R.F. の小信号雑音の測定回路の三つの例について説明している。ここではそのうち二つの例を抜き出して紹介する。

電波天文学における R.F. 雑音出力測定では、二つの信号出力の差を記録し、受信機の感度および安定度を増している。受信機入力の変換素子としては損失のない R.F. 切換回路やハイブリッドリング回路が用いられる必要がある。ところで受信機雑音は信号源インピーダンスによって変化する。したがって、二つの信号源を比較する測定においては信号源のインピーダンスが等しいことを確かめなければならない。以上のことを考慮して測定回路を考えてみる。

第 1 図のような回路で、二つの増幅器は  $180^\circ$  ハイブリッドリング A, B, C, D から、それぞれ雑音出力  $V_{N1}$ — $V_{N2}$ ,  $V_{N1}+V_{N2}$  を受信する。受信器出力は  $180^\circ$  位相差スイッチを通して加えられる。これを二乗



第 1 図 位相切換受信器を用いた雑音出力の比較



第 2 図 二極双投スイッチを用いた雑音出力の比較



検波すると、出力は  $V_{M1}^2 - V_{M2}^2$  に比例する。インピーダンスの検査は受信機 2 をはずし、 $D$  に信号機をつなぎ高出力の R.F. の信号を送り込む。インピーダンスの不整合があれば増幅器 1 に出力が出るから、整合回路網  $M$  で伝送が零になるように調整する。

第 2 図のような回路で二つの前置増幅器 1, 2 の入力特性が同じであるとする。増幅器 1 の入力側の線路を他方より  $1/4$  波長長くしておく、この受信器と負荷の小さな不整合の影響は逆転する。二つの増幅器を周波数  $f$  で 2 種の雑音源に切り換え、二つの検波出力の差から二つの信号出力の差が求められる。この方法によりインピーダンス変化の影響の一次の項を打ち消すことができる。(中原委員, 清水宏一訳)

### 10-471. 雑音にうずもれた信号を取り出すためのパルス波形とフィルタとの最適結合

H. S. Heaps: Optimum Combination of Pulse Shape and Filter to Produce a Signal Peak Upon a Noise Background. [Proc. Instn Elect. Engrs, Vol. 108, No. 13, Pt. C, March, 1961, p. 153~158]

本論文は信号対雑音比をできるだけ大きくするような送信パルス波形とフィルタ伝達関数の最適な組み合わせを理論的に検討したものである。伝搬媒体を直線フィルタ  $\bar{T}(\omega)$  とみなし、雑音は信号に独立であり、信号パルスは第 1 図に示すように

AB (Leading edge)

BC (Center portion)

CD (Trailing edge)

の三つの部分からなるものとする。これらの仮定のもとで、中心部 (BC) の一定の長さに対する送信パルス波形  $V_i(t)$  とフィルタ伝達関数  $H(\omega)$  の最適結合が次の関係で与えられる。

$$V_i(t) = \lambda \tau \sum_{r=0}^{n-1} \phi(t - T + r\tau) V_i(T - r\tau) \dots \dots (1)$$

$$H(\omega) = \frac{\tau}{T(\omega)} \sum_{r=0}^{n-1} V_i^*(T - r\tau) \times \exp\{j\omega(T - r\tau - T_0)\} \dots \dots (2)$$

ここに、

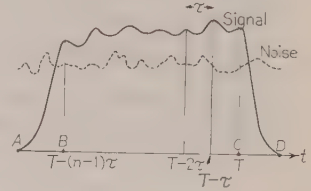
$$\phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\sigma(\omega)|^2}{|T(\omega)|^2} \exp(j\omega t) d\omega$$

であり、 $V_i(t)$  は  $V_i(T - r\tau)$  の値が  $V_i(T - s\tau) = \lambda \tau \sum_r \phi(r\tau - s\tau) V_i(T - r\tau)$  を満たすように選ばれる。 $|\sigma(\omega)|^2$  はフィルタ雑音入力電力スペクトル、 $\lambda$  は定数である。

次に、上式で与えられる伝達関数  $H(\omega)$  を有するような最適フィルタの物理的実現性を解析的に論じ一つの条件式を導き、これより実現可能なるための条件は、 $T(\omega)$  にだけ依存し雑音には独立であるというこ

れまでのこれに類する論文と対照的な結果を導き出している。

最後に  $n=3$  とした場合の (1), (2) 式で与えられる最適パルス波形とフィルタとを用いた結果が、最適でないフィルタ (2 極の低域通過パワースフィルタなど) を用いた簡単な場合の結果



第 1 図 送信パルス波形

と比較され、本理論の有効性を主張している。

要するに信号対雑音比をあげるためには、送信パルスを (1) 式を満たすように数個の短いパルスに分割し、同時にそれにマッチした (2) 式を満たすフィルタを用いるのが有利であり、このとき与えられたパルス幅に対しては分割数を増せば増すほどその改善度のよくなることを理論的結論としている。

(中原委員, 国分幹郎訳)

### 11-472. 半導体のライフタイム測定

G. K. Wertheim: Measuring Semiconductor Lifetime. [Bell Lab. Record, Vol. 39, No. 3, March, 1961, p. 87~91]

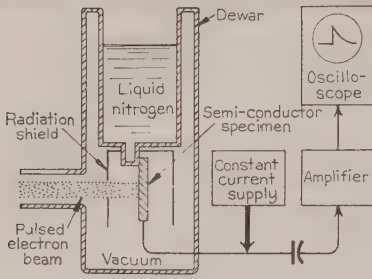
半導体のライフタイムを測定する方法は種々あるが、その中でも、光パルスを用いる方法と拡散長を測定する方法は比較的簡単にライフタイムを測定することができるので、ごく一般に利用されている。

光パルスを用いる方法においてもっとも要求されることがらは短い強い光パルスである。しかし、このようなパルスにも制限があり、せん光管を用いても  $1\mu s$  以下の強い光パルスを作ることはむずかしい。そのうえこのようにして作られた光パルスのスペクトル分布は励振の大部分が半導体の照射面で行われる方向にあるので、同種の半導体で作られたフィルタを必要とするなどの欠点がある。

以下述べる方法は光源の代わりに  $1,000,000\text{ eV}$  程度のパルス状の電子ビームを用いている。したがってこの技術は Van de Graaf machine のような高いエネルギーの加速機を必要とする。この電子ビームを半導体試料に照射してやると、試料中に侵透して行った電子ビームは試料を電離し、多数の正孔と電子の対を作る。一例としてシリコンの場合、 $1\text{ MeV}$  の電子が試料中を  $1\text{ mm}$  通過することに  $1,000,000$  個の電子と正孔の対が生ずる。この方法は、

(1) 多くの半導体で興味のある  $0.01\mu s$  以下のライフタイムまで測定しうる。

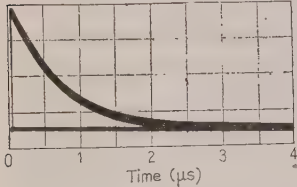
(2) 光パルスを用いる方法より、より強い一様な励振が可能である。



第 1 図

(3) 励振の振幅は試料の温度によらない。  
などの利点がある。

半導体内に作られた電子と正孔の対の減衰の様子を観測するもっとも実用的な方法は、試料の導電率の変化を観測することである。これは第 1 図に示す装置で行われる。すなわち、方形断面を有する棒状の半導体試料に定電流を流し、試料にパルス状の電子ビームを照射して、試料両端の電圧の微小変化をコンデンサ結合により取り出し、オシロスコープに波形を描かせる。するとこの波形は第 2 図に示すような指数衰曲線となり、ライフタイムが求まる。



第 2 図

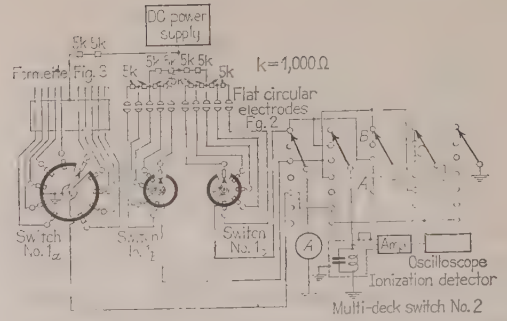
このような方法でライフタイムを測定する場合問題になるのは電子ビームによる放射線損傷である。しかし、電子ビームのパルス幅は非常に短いのであるから、シリコンの試料でも、測定中に放射線損傷を起しライフタイムの値が変わってしまうという危険性は非常に少ない。まして、ゲルマニウムではかなり長いライフタイムの試料でも、この危険性はよりいっそう少ないものと考えられる。(北村委員, 館野 博訳)

### 11-473. 直流電圧印加による 電離の二三の特性

B. V. Bhimani: Some Characteristics of Ionization Under Direct-Voltage Stress. (Pwr Apparatus and Syst., No. 52, Feb., 1961, p. 1074~1083)

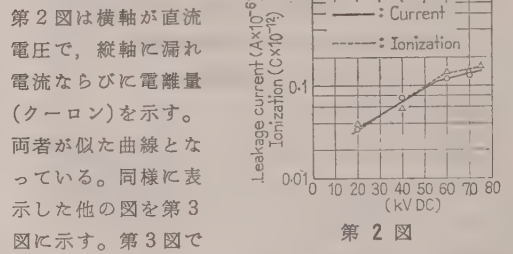
本報告は、固体絶縁物主として発電機コイルなどの直流電圧印加による電離の影響を実験、検討したものである。

実験回路は第 1 図に示すものを用い、測定器としては NM 20 A 形雑音計, テクトロ 514 D 形オシロスコープおよびマイクロアンメータを用いた。マイクロアンメータで漏れ電流を測定し、他の測定器で電離 (Ionization) の強度を測定した。

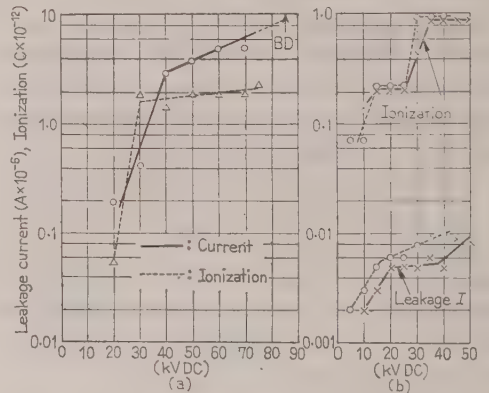


第 1 図

測定結果の図が各種発表されているが、そのうちの一例を第 2 図に示す。



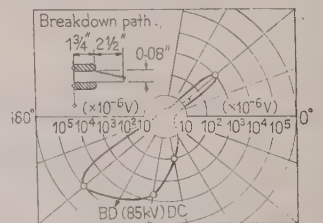
第 2 図



第 3 図

は絶縁破壊値も得られているが漏れ電流と電離量の曲線に関係がなく、破壊点付近でその量が増加してもいない。第 4 図に電離量の分布図を示した。電離が集中して起っている。これらの図によって次の結論を得た。

- (1) 通常の絶縁構成では直流による放電が生ずる。
- (2) 直流の放電は集中して絶縁体内部のボイドで



第 4 図



生じやすい。これは交流における表面で発生しやすいのと異なる。

(3) 上記放電は層間を浸食しやすい。

(4) 直流での破壊は直流放電集中点で生ずる。

(5) 破壊電圧値漏れ電流、電離量、(全体の)電離の分布などの間に関係はない。

(6) 直流の破壊点と交流の破壊点は異なり、それぞれ他の種類の電圧によって弱点を見出すことはできない。  
(井上委員, 増田繁夫訳)

#### 11-474. 保護継電器回路への同軸ケーブルの応用

J. R. Linders: Coaxial Cable for Protective Relaying Communications. [Pwr Apparatus and Syst., No. 53, April, 1961, p. 104~109]

電力線保護方式として、表示線保護継電方式と搬送保護継電方式とが採用されていることはよく知られている。ところで表示線保護継電方式は表示線自体の故障が多いという欠点があり、搬送保護継電方式は多回線の場合やケーブルと架空送電線とがつながっている場合には、その採用に制限をうける。

以上の欠点を解決するため、マイクロ波による保護継電方式が考案された。マイクロ波は電力線からの誘導をうけないし、それ自体一つの多重回線に等価であり、また保護の対象が架空線であろうと地中ケーブルであろうと問題ではない。ただ距離があまり遠いとリピータが必要になるので不経済であり、一方あまり近いと終端設備の価格が単位距離あたりとして割高になるのでやはり不経済である。

そこで、マイクロ波には経済的な距離範囲というのが決まってくるから、同軸ケーブルと組み合わせると経済設計ができる。すなわち同軸ケーブルを短い区間に使ってゆくわけである。表示線で問題となる商用周波数の誘導電圧は、同軸ケーブルの場合においても外部導体の長さ方向に発生し端末において対地電位を上昇させるが、これはごくありきたりのハイパスフィルタで除去することができる。

実際にこの方式をはじめて採用したのは Cleveland Electric Illuminating Company であって、2回線のパイプタイプケーブル回路 3.5 mile と、2回線の 1.5 mile の地中ケーブルと 1.5 mile の架空線との接続された回路に対して応用された。電圧は 132 kV、周波数 60 c/s である。結果は良好であったと報告されている。このとき採用された同軸ケーブルは内部導体が直径 0.077 in の銅線、絶縁が 0.124 in 厚の発泡ポリエチレン、(ニトロゲン入) 外部導体が 0.05 in 厚のアルミシースであって、最外層にポリエチレンシースがあり、外径 0.435 in である。減衰量は 1 Mc で 1.08 dB/1,000 ft である。

なお、保護対象の架空送電線と同軸ケーブルを共架したときの現象についてはさらに実験を必要とする。

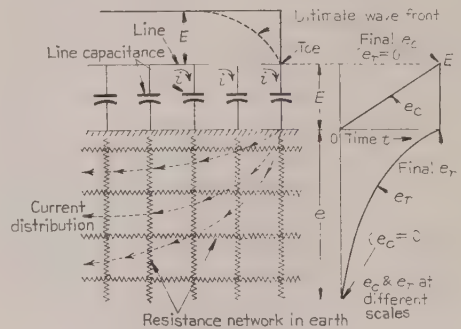
(井上委員, 西川忠成訳)

#### 11-475. 地下ケーブルジャケットのピンホール破壊の解析

G. J. Crowdes & C. L. Dawes: An Analysis of Pinhole Punctures in Underground Cable Jackets. [Elect. Engng, Vol. 80, No. 5, May, 1961, p. 355~357]

雷撃異常電圧および雷撃電流によって地下ケーブルジャケット中にピンホールが生じ、またときにはそれに付随して、ケーブルの絶縁破壊が起りうることを架空送電線に降圧変圧器を介して接続された地下ケーブルの系統を等価回路に、大地の抵抗を格子状模擬回路に表わし解析した。

架空送電路のある点に急しゅん波頭の異常電圧が襲来した場合、架空送電路と大地表層部間に静電容量を、大地表層部と深層部間に抵抗だけを考えると、襲来当初時では架空送電線と大地表層部間の電圧は零であり、大地表層部と深層部間にはその雷撃電流により電圧が現われ、時間の経過とともに前者は次第に大きくなり、後者は次第に減少してついに零となる。



第 1 図

第 1 図に示す 115 kV 架空送電線路、115 kV/13.8 kV 降圧変圧器、13.8 kV 地下ケーブル系統でも同様のことがいえ、変圧器高圧部分と大地深層部間に 1,000 kV 印加されると避雷器により変圧器高圧部分と変圧器接地間には 400 kV に押えられるから、大地表層部と深層部間は 600 kV の電圧となる。

その結果 600 kV がジャケット部分と大地抵抗直列部分に印加されることになり、ジャケット部分にピンホールを発生させる可能性をもつ。このジャケット部分に現われる高圧についてはまた他の方法で説明することができる。

このようなピンホールの発生に付随してケーブルの絶縁破壊が起るときがあり、この防止対策として変電所の接地抵抗を低減すること、およびそれに接続した

地線をケーブル線に沿って布設すべきことが推奨される。  
(井上委員, 丸田秋広訳)

# 11-476. 銅と油の接触を極力少なくしたケーブルの設計

M. H. McGrath: Cable Design Eliminates Copper-Oil Contact. [Elect. Wld, Vol. 155, No. 18, May 1, 1961, p. 31~32]

General Cable Corp. は Cornell 野外試験に使用した 345 kV 高油圧パイプケーブルの設計に根本的な三つの目的をたてた。

- (1) 全体としての機械的強度とケーブルの均一性。
- (2) 初期の誘電体力率の小さること。
- (3) 誘電体力率の安定なこと。

最初の目的のために高度の機械的強度を持つ高油圧パイプケーブルが選ばれた。

2 番目の目的のために低密度の特殊な紙を使用した。

2 番目および 3 番目の目的のために銅と油の直接的な接触が最小限に保持されている構造とした。

ケーブルは単心 2,000 MCM エナメル同心より線で, 1 in 厚さの絶縁油浸紙層, 絶縁シールド, 湿気シールド, ポリエチレンスキッドワイヤなどで構成され, 10.75 in の鋼管に引き込まれ, 200 lb/in<sup>2</sup> の油圧に保持されている。

このケーブルは, 345 kV の絶縁を 1 工程で紙巻きできる新機械で作られた。この設備はテープの張力を一定とし, テープが終る前に自動的に停止できる。

また 10% の湿度調節装置の中で製造され, 縦横自由に動きうる巻取装置を備え, カタピラキャップスタンと紙巻ヘッドの軸で直接これを動かして, ケーブルの曲りや, ねじれを除くようにしており, 特に発達した厚さ 3~8 mil の木材パルプ紙を用いている。

本研究では, 高压高温電界内での鉱油と裸銅の直接接触が油入ケーブルに有害と考えられるので, 銅と油の接触を最小限にするために 2,000 MCM のほとんどが合成エナメルで被覆されている。

測定の結果 2,000 MCM エナメル同心より線の抵抗交流比は 2,000 MCM の圧縮分割導体に匹敵していることがわかった。

導体温度 100°C, 大地間 300 kV (三相 520 kV) で問題なく負荷試験の前後の 60 c/s, 100 lb/in<sup>2</sup> の力率は, 室温で約 0.18%, 90°C で約 0.20% を示している。

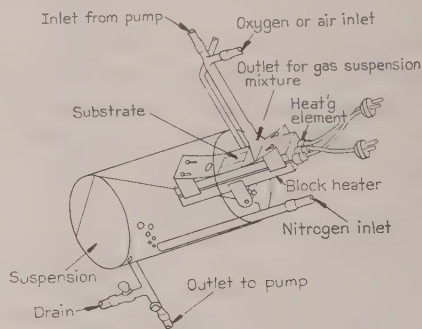
サージ試験は負荷試験の前後に室温と 75°C で 1.5 × 40 μs, 1,300 kV の正負両極性で行われた。また AEIC 長時間耐圧に相当する試験として, 導体一大地間 350 kV 6 h, 442 kV 3 h, 534 kV 3 h をすべて 100 lb/in<sup>2</sup> で行い良好であった。

(井上委員, 荻原晴夫訳)

# 11-477. 薄膜フェライト

H. P. Lemaire & W. J. Croft: Ferrite Thin Films. [J. appl. Phys. (Supplement), Vol. 32, No. 3, March, 1961, p. 46 S~47 S]

フェライト膜の作り方にはアルゴンと酸素気体中でのスパッタリング, 合金の真空蒸着後の酸化などの方法があるが, ここでは反応物質(水酸化物)の懸濁液を熱せられた下地上に散布する方法を用いた。膜は酸化とそれに伴う析出作用により下地表面に沈殿する。マグネタイトの膜は水酸化第一鉄の懸濁液を酸化して作るが, 最初に作られた水酸化第二鉄は未酸化の水酸化第一鉄と反応し, マグネタイトの沈殿を生じる。最初に灰緑色の非磁性中間物質が作られるが, この化合物は反応が進むにつれてマグネタイトに変化する。膜



第 1 図

の製造装置は第 1 図に示される。下地は普通水晶またはガラスが使われ, 苛性ソーダであらかじめ洗っておく。電熱器で下地温度を懸濁液より数度高く保たせる。懸濁液は 50~90°C に予熱しておき, 循環ポンプにより熱せられた下地上を循環させる。空気あるいは酸素は酸化反応を起させ膜を作るため溶液中に混入される。膜は循環過程が始ってから数分後に作られるが, 実際には反応物質の特性とか懸濁液と下地の温度によって定まる。膜厚は循環操作の持続時間によって制御できるが, 反応物質の性質と懸濁液の流速, 温度にも依存する。そして 100 Å より 1 μm までの種々の厚みのものが得られた。

混合フェライト膜は適当な 2 価のイオンを種々な割合で含む液から作られる。たとえば  $Zn_xFe_{(1-x)}Fe_2O_4$  の膜は種々な割合の水酸化亜鉛および水酸化第一鉄の懸濁液を空気で酸化して作る。ただし, 反応物質の割合が反応が進むにつれ変化すると, それに伴って膜の成分に傾斜が生ずる。そのため厚い膜は比較的小量の懸濁液で操作をくり返して作るとよい。抗磁力は約 1 kc の周波数で得られたヒステリシスループから求めた。  $Zn_xFe_{(1-x)}Fe_2O_4$  膜の抗磁力を第 1 表に示す。膜の成分は直接分析によって求めた。与えられた膜の成分に対して抗磁力は膜厚が増すと減少し,



第 1 表

Composition	Coercive force (Oe)
$Zn_{0.1}Fe_{0.9}Fe_2O_4$	294
$Zn_{0.2}Fe_{0.8}Fe_2O_4$	240
$Zn_{0.3}Fe_{0.7}Fe_2O_4$	193
$Zn_{0.4}Fe_{0.6}Fe_2O_4$	115
$Zn_{0.5}Fe_{0.5}Fe_2O_4$	84
$Zn_{0.6}Fe_{0.4}Fe_2O_4$	50

ネタイトでは膜厚によって、170~300 Oe の抗磁力の変化があった。また  $Ni_{0.4}Fe_{0.6}Fe_2O_4$  では、225 Oe から 400 Oe までの膜厚による変化があった。実験したすべての膜はその成分に関係なく高い角形性 ( $B_r/B_{max} > 0.95$ ) をもっていた。X線回折により膜が立方スピネル構造であることを調べた。たとえばだいたい  $Ni_{0.4}Fe_{0.6}Fe_2O_4$  の成分の膜で単位格子は  $8.37 \text{ \AA}$  を得たが、これは bulk のニッケルフェライトの  $8.36 \text{ \AA}$  およびマグネタイト  $8.39 \text{ \AA}$  の範囲内である。

(長島委員, 中村 豊訳)

### 11-478. ケーブル技術者のための 土じょう分類法

M. J. Vanner: Soil Classification for Cable Engineers. [ERA Simplified System]

ケーブル技術者にとって電力ケーブルの送電容量を設定するうえに、土じょうの特性を知ることはきわめ

第 2 表 Schedule for Classification of Miscellaneous Soils

	I Description	II Classification
1	Top Soil The top 1 ft or so of soils containing organic matter, partially or completely decomposed, grass, roots, etc. Generally a darker colour than the soil below it. If necessary, this classifications may be combined with Classifications A-F, to specify more closely the top soil.	I
2	Limestone A sedimentary rock consisting of consolidated sedimentary ooze and usually containing shell fragment. Fairly hard, often of a brown colour.	K
3	Chalk A fairly soft white or grey porous rock usually containing very small shell fragments.	L
4	Shale A consolidated clay rock, which displays laminations in its structure.	M
5	Made-up ground including plaster, cement, bricks, concrete and other building materials.	N
6	Made-up ground including cinders, ash and clinker.	O

て重要な事項である。従来土じょうの特性を比較するためには、Casagrande 法と称する土じょう分類法が用いられているが、この分類法はきわめて複雑で難点がある。

著者らは特別な器具あるいは知識を必要とせず、また現場において即座に実施しうるような方法を立案し

第 1 表 Schedule for Classification of Sand and Clay Soils and Organic Soils.

Look I	Feel II	Squeeze III	Pinch IV	Soil Classification V
1. Loose Particles; mostly larger than $1/16''$ in diameter	1. Critty, i.e., the grains of soil can be felt	1. A cast cannot be formed	1. Does not stick together	A
2. Crumbly with no clods of earth. The grains can easily be distinguished		2. A cast can be formed but it crushes if touched again		B
		3. A cast can be formed and can be handled with extreme care		C
3. A mixture of clods with crumbly earth	2. Fairly smooth, but some roughness	4. A cast can be formed and freely handled	2. Sticks together but a perfect ribbon not produced. A broken appearance (i. e., cracks, etc. appear)	D
	3. Smooth but not greasy		3. Forms a ribbon which breaks quite easily	E
4. Compact material, possibly looking wet and rather greasy separate grains are too small to be distinguished	4. Smooth and possibly greasy		4. Forms a strong ribbon	F
5. Finely divided, thoroughly decomposed black organic material	5. Finely divided soil	5. Compressible soil-the extent depending on relative quantities of organic and inorganic soil. The more organic, the more compressibility	5. Sticks together, but there is no great strength and any ribbon produced is not perfect.	G
6. Predominantly organic material black or dark brown in colour and incompletely decomposed	6. Highly fibrous soil	6. Very compressible soil. A spongy feel.		H

The horizontal line under Item 1. in Column I should align with those under Item 1. in Column III and Classification A in Column V.

た。

すなわち“簡易分類法”と名付け、分類の手段としては、土じょうの外観 (look)、感触 (feel)、圧縮したときの状態 (squeeze) ならびにつまんだときの状態 (pinch) を観察し、第1表あるいは第2表に示するような分類表により上記4項についてそれぞれ該当項を捜し、その結果より A~O の分類のいずれかを選出するものである。“簡易分類法”は多少の指導を受けるだけでよく、個人差も比較的少なく、分類のばらつきも大部分は1区分内に収まる結果を得ている。なお各区分と熱抵抗値との関係はまだ充分には得られていないが、資料がまとまり次第報告される模様である。

(井上委員、天谷敏夫氏)

### 11・479. 単心高圧ケーブルの 紙巻理論概説

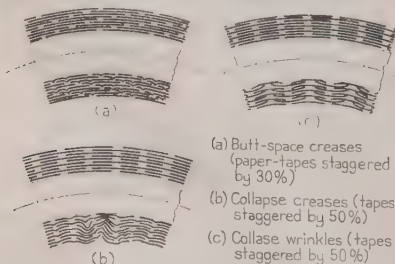
P. Gazzana-Priaroggia, E. Occhini & N. Palmieri: A Brief Review of the Theory of Paper Lapping of a Single-Core High-Voltage Cable. [Proc. Instn Elect. Engrs, Vol. 108, No. 13, Pt. C, March, 1961, p. 25~34]

同じ著者により発表準備中の詳細な研究の概要を報告したもの。電力ケーブル紙巻の機械的条件を解析して、紙巻後のリールあるいはキャプスタン巻に伴う屈曲が絶縁を損傷しない条件を求めている。ケーブル製造中絶縁体のしわは、このときに生じなければ以後の工程で発生することはない。

曲げにより絶縁紙に生ずるしわを第1図の3種に分ける。(a) は落込み、(Butt-space creases) (b) は挫屈折れ、(Collapse creases) (c) はゆるみしわ (Collapse wrinkles) である。

紙巻がゆるく、紙巻張力によって絶縁層に生ずる半径方向の応力が、曲げに起因する半径方向の応力の最大値より大となるような場合は、絶縁が安定せず (c) のゆるみしわとなる。

また落込みおよび挫屈折れ (a), (b) は、いずれも絶縁紙筒の圧縮挫屈とみなされるものであって、紙巻張力による半径方向応力  $\Phi_{0r}$  が大きすぎ、絶縁層の構成、紙幅、紙厚、摩擦係数などで決まる挫屈条件をこ



第1図

えるとき発生する。落込みになるか、挫屈折れになるかは、紙テープ相互間の保持効果の大小によるもので、(紙層半径  $r$ /紙厚  $s$ ) の比が大のとき挫屈折れ、小のときは保持効果が働いて落込みとなる。また、条件により両方のしわが同時にみられる。

本論文では、ケーブルの場合うず巻状に巻かれている紙テープを、ギャップ  $h$  の間隔で隣接する紙リングの列と仮定し、またテープの重なり 50% とするなど、取り扱いやすい形状で近似して上記の関係を理論的に説明し、しわに対し安定な紙巻条件を導いている。また、導体径 38mm、絶縁厚約 19mm の超高圧ケーブルの設計値を例示し、上記安定条件に合致することを示している。

(井上委員、串橋啓三氏)

### 12・480. 電気加熱における 熱伝達に関する展望

B. Rolsma: Heat Transfer Aspects of Electric Heating. [Appl. and Industr., No. 53, March, 1961, p. 28~33]

電気加熱に用いられる発熱体内部の温度分布、および発熱体表面よりの熱放散を理論的に求める場合に参考となる文献 23 をあげ、このような問題に対する考え方の概要が示されている。すなわち発熱体内部の温度分布と他の電気機器の温度分布とを比較すると、前者では発熱をできるだけ大きくし温度を上げたいのに対し、後者ではできるだけ発熱を少なくし温度を低く押えたいという相違はあるが、その定常状態における温度分布を決定する微分方程式は同一である。このような見地からいままでも電気機器の内部温度を決定するために行った研究の多くが、電熱における発熱体に用いられることを示している。発熱体内部の定常状態における温度分布は、等方性で単位体積あたりの発熱  $q'''$  が一定であり、熱伝導率  $k$  が温度の変化範囲で一定とし、温度を  $t$  とすれば

$$k \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + q''' = 0$$

を解けば求められる。これに対し Rogowski が無限平板と無限長円柱の場合、Jakob が方形柱の場合の解をいずれも表面温度一定として求めている。実際の発熱体では熱伝導率と発熱とはともに温度により変化するが、発熱だけが温度により変化するとは仮定した場合については、Jakob が無限平板と無限長円柱に対する解を、Higgins が方形柱に対する解を求めている。熱伝導率が温度により変化する場合は、微分方程式は

$$k \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + q''' + \frac{\partial k}{\partial t} \left[ \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right] = 0$$

となり非線形となるが、この解法については Jakob により検討がなされている。さらに熱伝導率が温度だけでなく方向によっても変わる場合は、方向により発熱



が異なるし、また表面の熱発散率も異なり、解は非常に複雑であるが Carslaw と Jaeger とにより厳密な解法が求められている。以上は厳密な解法についてであるが、近似的な解法では微分方程式は次のように書き換える。

$$\begin{aligned} & \left[ k_x \frac{t(x+dx, y, z) - 2t(x, y, z) + t(x-dx, y, z)}{(\Delta x)^2} \right] \\ & + k_y \left[ \frac{t(x, y+dy, z) - 2t(x, y, z) + t(x, y-dy, z)}{(\Delta y)^2} \right] \\ & + k_z \left[ \frac{t(x, y, z+dz) - 2t(x, y, z) + t(x, y, z-dz)}{(\Delta z)^2} \right] \\ & + q'''(x, y, z) = 0 \end{aligned}$$

この解が一定に近づくまで充分小さい部分を取り解を求めればよいのであるが、計算機を使用すればくり返し計算するために要する労力はかなりはぶくことができる。このほか発熱体の表面より熱を発散させる場合いかなる点を考慮して設計すべきであるかなどについても直接問題に対する解答は与えられていないが、考え方と参考文献の紹介がなされている。(北村委員)

## 12・481. 宇宙機用の放射性原子核電源

D. G. Harvey & J. G. Morse: Electric Power Sources Radionuclide Power for Space Missions. [Nucleonics, Vol. 19, No. 4, April, 1961, p. 69~72]

人工衛星の補助電源として原子エネルギーを用いる研究がアメリカ政府の SNAP 計画 (Systems for Nuclear Auxiliary Power) として行われている。本論文は其中で特に熱源として放射性元素を用いた電源の開発状況についての紹介である。

熱源として用いられる核種は半減期の適当な  $\alpha$ ,  $\beta$  放出体で第1表のごとくである。エネルギー変換方式としては熱電素子と熱電子変換器が予定され、前者は今日用いられるのは PbTe だけであるが、高温に耐えないことが効率の限界をなしており、耐高温性の新素子の完成が今後の改良のかぎになっている。後者は研究の緒についたばかりであるが、高効率で軽量の理想的な変換器として将来数百ワット以内の電源の主力となるらう。

第 1 表 代表的放射性原子核熱源

核種	崩壊形式	半減期	燃料形態	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	熱出力 (W/cm <sup>3</sup> )	所要燃料 (g/W)	指定コスト (ドル/W) <sup>1)</sup>	
							現在	計画
Po <sup>210</sup>	$\alpha$	138日	Po	9.3	1,320	31.2		
Cm <sup>242</sup>	"	162日	Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.75	1,169	27.2	80*	45*
Pu <sup>238</sup>	"	86,4年	PuC	12.5	6.9	30.3		1,600
Ce <sup>144</sup>	$\beta$	285日	CeO <sub>2</sub>	6.4	12.5	128	87	14†
Pm <sup>147</sup>	"	2.6年	Pm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.6	1.1	2,700	3,000	1,630†
Cs <sup>137</sup>	"	33年	CsCl	3.9	1.27	320	500	54†
Sr <sup>90</sup>	"	28年	SrTiO <sub>3</sub>	4.8	0.54	153	455	23†

\* 照射コストを含まず (100ドル/W増し)

† AEC の主分離工場完成の場合の推定値

第 2 表 4 種類の原子核発電器

	SNAP 3	SNAP 9	SLLG*	SNAP 1A
設計出力 (W)	~3	14.5	19	125
重量 (lb)	4	11.9	16.6	200
設計寿命	—	5~10 年	4 月†	1 年
最大入力 (燃料そう入時) (W)	70	260	655	6,500
燃料核種	Po <sup>210</sup>	Pu <sup>238</sup>	Cm <sup>242</sup>	Ce <sup>144</sup>
半減期	138 日	86 年	163 日	285 日
所要量	2,300 g	475 g**	6.3 g	8.8×10 <sup>3</sup> g
最大高温接点温度 (°F)	1,050	900	1,000	1,050
最大冷接点温度 (°F)	300	235	370	335
全 長 (in)	5.5	7	8.38	34
直 径 (in)	4.75	12.5	7.5	24

\* SLLG: Soft Lunar Landing Generator

† 寿命は有効動作の3ヶ月と燃料そう入から動作開始までの1ヶ月の和。

\*\* PuC の重量

現在開発中の原子核電源は第2表に示す4種類で、いずれも PbTe 素子を用いる。SNAP 3 は原理的実験用として初めて完成したもので、\*現在ロケット発射条件における信頼性の試験中である。SNAP 9 は 5~10 年の長寿命化の実現を目的としたもので、半減期の長い Pu<sup>238</sup> を用い、熱電素子の使用温度も低く選り、アルミニウムの翼で冷接点を冷却し効率の向上を図っている。SLLG (Soft Lunar Landing Generator) は月面着陸衛星用として特に強い衝撃 (100 G) に耐える設計が行われている。燃料は Cm<sup>242</sup> で寿命は3ヶ月で短く、熱源に自動制御装置のある冷却器をつけて出力の安定化を図っている。SNAP 1A は計画の中で最大の 125 W の出力の実現を主目的とする。Ce<sup>144</sup> 88 万キュリーを燃料とし、地上操作中は 4,000 lb の水銀を満たして放射線をしゃへいし、発射前にこれをぬいて、動作中は 200 lb の重量になる。現在燃料なしで安全性の試験が行われている。

\* 訳者注 1959 年 1 月 Whitehouse で発表され、同年 5 月東京国際見本市に展示されたもの。

(見目委員、大谷四郎訳)

## 13・482. 制御素子としてのサーミスタ

I. C. Hutcheon: Using Thermistors as Servo Elements. [Electronics, Vol. 34, No. 5, Feb. 3, 1961, p. 52~55]

傍熱形サーミスタを主として電位差計式に制御回路に応用した回路の説明と他の文献よりいくつかの応用例を列挙している。

第1図が基本回路で、(a) はチョッパ形直流増幅器の出力を復調してサーミスタを熱し直流を制御する。利得は周囲温度の影響がない程度大きくなければならない。一歩進めてサーミスタ2個直列で位相復調回路により別々に熱するのが (b) で、無信号時には平衡し交流入力で抵抗値が変化し、(c) のサーボモータと機械的電位差計に相当した作用をする。サーミスタの熱慣性により数十サイクル以上の信号には追従しない





SCR は  $10\sim 180^\circ$  の位相で点弧するが、このための SCR のゲートへの信号は点弧の不整をさけるために定常電流よりもパルス電流のほうが望ましく、この目的でユニジャンクショントランジスタ  $U_1$ ,  $U_2$  が使用された。入力为零のときでも各 SCR が  $160^\circ$  の位相で点弧するようにバイアスし、また電動機に並列に  $250\Omega$  の抵抗を接続することによって速度が零付近での感度および速度-トルク特性の直線性を得ている。

電動機を拘束した場合に SCR 回路の周波数特性は近似的に  $G_R = \varepsilon^{-j\omega T/4}$  となる。これは供給電圧の  $1/4$

サイクルの時間遅れを表わしているが、電動機および負荷の慣性による遅れにくらべて無視することができさきのトルク特性と相まってよいサーボ特性が得られる。本論文ではさらにこの系の各部の伝達関数を定め、自動制御系としての検討を行っている。

実験は小さな直流電動機で行われたが、この制御回路は SCR と整流器  $D_1$ ,  $D_2$  の容量を増すだけで約  $1/2$  HP までのサーボモータに使用することができる。

(長谷川委員, 松村文夫訳)

## 特 許 紹 介

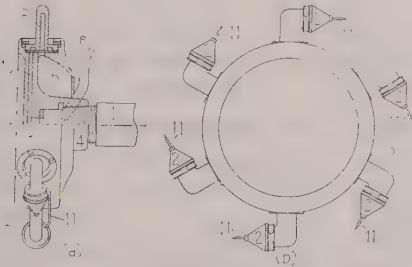
### 109. 静電塗装装置

特許公報 昭 35-9415

発明者および特許権者 渡辺 保

この発明は静電塗装に用いる塗料霧化頭部の構造に関するもので、第 1 図 (a), (b) に示すように、回転できるように支承された中空軸 1 の先端に通路 10 と塗料流路 8 を設けた円板状のノズル金具 3 を取り付け、ノズル金具の周縁に前記通路と塗料流路に連通する複数のノズル 2 を、ノズル金具の接線方向または接線方向成分を持つ向きに配設し、前記中空軸を通してノズル金具の通路に圧縮空気を送給し、この圧縮空気によって塗料流路を経てノズルに供給した塗料をノズルから噴出霧化すると同時に、ノズル金具を回転させるようにしたものである。

塗料はその対気初速度が零に近い状態で噴霧ノズルから微粒化して放出され、被塗装物へ静電力によって付着する。



第 1 図

### 110. 小形直流電動機のカバナスイッチ付回転子

特許公報 昭 35-10558

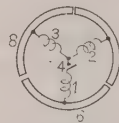
発明者 真鍋 敬二

特許権者 松下電器産業

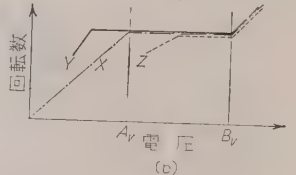
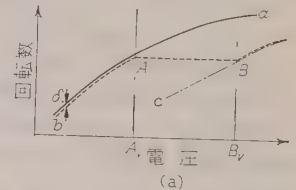
この発明は第 2 図に示すように少なくとも 2 種の相

異なるインピーダンス値を示す複数のコイル 1 および 2, 3 を持ち、そのいくつかにガバナスイッチ 4 を介してこれらコイル群を星状結線したことを特徴とする小形直流電動機のカバナスイッチ付回転子である。

この種電動機では第 3 図 (a) に見られるように、電圧-回転数特性においてコイル 1 の接続を切り離した場合は  $c$  曲線を描き、ガバナ回路がなく三つのコイルが接続されている場合は  $a$  曲線を描き、ガバナ回路を設けた場合は  $b$  曲線を描くもので



第 2 図



第 3 図

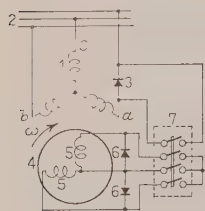
あるが、この発明のように各コイルのインピーダンスを異ならしめることにより、(b) 図に見られるような各種所望の特性を得ることができる。すなわち、従来のように各コイルのインピーダンスが等しい場合に  $X$  曲線を描くとなると、コイル 1 のインピーダンスがコイル 2, 3 のそれにくらべ小さい場合には広範囲の電圧に対して一定の回転数を持つ  $Y$  曲線が、またコイル 1 のインピーダンスが他のコイル 2, 3 にくらべ大きい場合には小範囲の電圧あるいは負荷の変化に応じて直ちに回転数が変化し、規定電圧や規定負荷時には回転数が安定している  $Z$  曲線のような特性が得られる。なお第 2 図で 6, 7, 8 は各整流子片を示す。

### 111. 自動形三同期電動機

特許公報 昭 35-11263

発明者および特許権者 野中作太郎

この発明は、回転磁界と静止磁界とを重ね合わせて発生するように、固定子巻線を三相交流と直流とによって励磁し、同期速度で回転する回転子界磁巻線に、前記静止磁界による交流電圧を誘起させ、整流器で整流して自動形とした三相同期電動機である。第4図によって説明すると、1は三相交流電源2にそれぞれの端子a, b, cを接続した固定子巻線で、3は静止磁界を発生させるための金属整流器、4は平衡二相界磁巻線5を持つ回転子で、前記界磁巻線5に自動用の金属整流器6を接続する。7は同期化用開閉器で前記静止磁界発生用金属整流器3と、自動用金属整流器6を同時に短絡するものである。この電動機を起動するには同期化用開閉器7を閉じ、両整流器3, 6を短絡し、誘導電動機として起動する。起動後同期速度近くに回転速度が上昇したとき



第4図

に、同期化用開閉器7を開くと、金属整流器3により固定子には回転磁界とともに直流励磁による静止磁界が発生し、回転子4の界磁巻線5に基本波の交流電圧が誘起され、この電圧は金属整流器6により整流されて、界磁巻線5を直流励磁し、回転子4は同期に引入られて運転を継続する。同期化用開閉器7は、遠心力開閉器または一定速度で動作する継電器を用いて自動的に同期化運転を行うことができる。

## 112. レール電流を用いる 軌道回路方式

特許公報 昭 35-13304

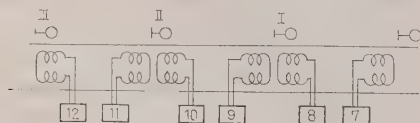
発明者 河辺 一, 外5名

特許権者 国鉄

この発明はレールに絶縁継目をそう入しない軌道回路方式に関するものである。

従来の軌道回路は閉そく区間の一端からレール間に信号電圧を加え、列車が閉そく区間に進入した際、その区間の入口のレール間に接続した軌道継電器を落下させるようにしているが、このようなものでは閉そく区間の境界に絶縁継目を用いないと軌道継電器の落下する列車の位置が軌道の状態によって種々変化し、明確な閉そく区間を形成しえない欠点があった。

この発明は送信器と受信器のいずれをもレール間に接続せず、送信器は送信コイルを経てレールに信号電流を流すようにし、受信器は信号電流を受信コイルを



第5図

経て受信して信号機を制御するようにしたことを特長とするもので、第5図で7, 9, 11と8, 10, 12はそれぞれ上記送信器と受信器を示し、I, II, IIIは各閉そく区間入口の信号機を示す。

このようにすれば列車が閉そく区間にあるときだけ、その区間入口の受信器の継電器が落下するので、レールに絶縁継目をそう入しなくても明確な閉そく区間を形成できるから、長尺レールの使用や高速列車運転上必要とされる絶縁継目なしの軌道回路を簡単に実現させることができる。なお、この発明で隣接軌道回路の混信を防ぐためには、隣合った軌道回路の送信周波数を変えることによって周波数選別を行うなど適当な方法をとることができる。

## 113. AB級あるいはB級の 半導体増幅器

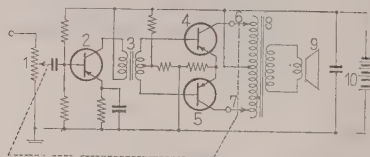
特許公報 昭 35-14663

発明者 柿沼 明, 河原安次郎

特許権者 日本電気

この発明は第6図に示すようなAB級あるいはB級の半導体増幅器において、入力を調節して出力調整を行う場合、入力の調節(1)に対応して出力側のインピーダンスを変化(6, 7)させ、その増幅器の効率すなわち出力対出力側直流消費電力の比が良好な点で動作するようにし、電源の消費電力を軽減すると同時にひずみ率を改善させたものである。

従来の増幅器では出力インピーダンスを固定しているため、入力の減少した場合効率が悪くなったが、この発明によるとその欠点が改善され、さらにひずみ率も良好になった。



第6図

## 114. 回路しゃ断器

特許公報 昭 35-14972

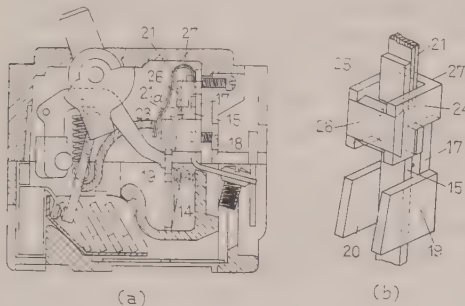
発明者 武藤 正

特許権者 三菱電機

配線用熱動形回路しゃ断器において、負荷電流を流通しその負荷電流の所定の増大に応動して接触子を開放する双金属素子と、負荷電流を双金属素子に供給する導電体とは、その機構上ほぼU字状の通電路を形成し互に接近して相対する。したがって、導電体を流通する負荷電流による磁束は双金属素子を流通する負荷電流と直角方向に鎖交し、双金属素子はこの磁束と双金属素子を流通する負荷電流との相互作用により、導電体と相反発する方向に機械的応力を受ける。この



電磁反発力は定常状態においては無視しうるが、短絡電流などの過電流が流通すると急激に増大し電流の流通により加熱され、軟化状態にある双金属素子はこれによって永久変形し、短絡電流除去後も原位置に復帰せず、その動作電流値と動作時限を大幅に変動する欠点がある。この発明は双金属素子に対応して固定され、これに負荷電流を供給する導電体を閉磁路で囲み、この閉磁路に負荷電流による発生磁束を流通させて双金属素子と導電体との間を磁的にしゃへいし、上記の欠点を除去しようとするものである。



第 7 図

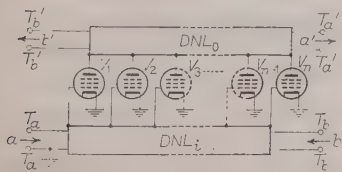
すなわち第 7 図 (a), (b) に示すように、双金属素子 21 の作動部 21a と導電体 15 との対応する部分に導電体 15 を囲んで磁性体 17、磁性体脚部 24, 25、短絡磁性体 26 よりなる短絡磁路 27 を設けているので、導電体 15 の流通電流による磁束は大部分短絡磁路 27 を循環流通し、双金属素子作動部 21a と鎖交する磁束は低減され、この磁束と双金属素子 21 の流通電流との相互作用により、作動部 21a に加わる電磁反発力は充分抑制され、双金属素子 21 の永久変形を充分阻止することができる。

### 115. 分布定数回路増幅装置

特許公報 昭 35-16909  
発 明 者 望月富防  
特許権者 望月電波研究所

この発明は分布定数回路を使用した増幅装置であって、第 8 図に示すように入力側と出力側に同等定数の分布定数回路 ( $DNL_i$ ,  $DNL_o$ ) を用い、入力側分布定数回路  $DNL_i$  の両端の端子 ( $T_a$ ,  $T_b$ ) に与えられ、それぞれ反対方向に進む信号 ( $a$ ,  $b$ ) が、出力側分布定数回路  $DNL_o$  の両側の端子 ( $T_a'$ ,  $T_b'$ ) から各別に選出されることを特長としている。

この装置によると、従来の分布定数回路増幅装置のように広帯域にわたり信号を増幅することはもちろんである



第 8 図

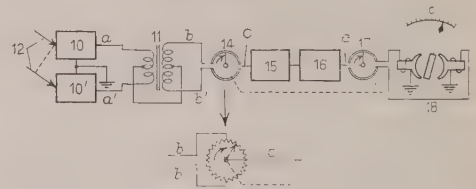
が、特に反対方向に進む各別の信号を増幅することができ、さらに図面の  $T_a'$  と  $T_b$  を接続し同じ信号を増幅し 2 倍の利得を得ること、また  $T_b'$  を  $T_a$  にも接続すると発振器とすることが考えられる。

### 116. 位相検出装置

特許公報 昭 35-16944  
発 明 者 Wallace Haward Hers  
特許権者 Bendix Corporation

この発明は同一周波数の二つの交流電位の位相差を増幅し検出する方式に関するものである。

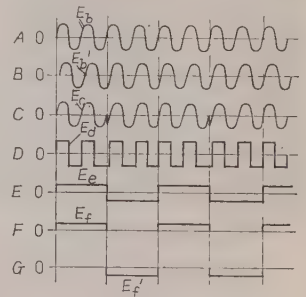
この発明の実施例を示す第 9 図で、同一周波数の位相の異なる音波を電気波に変える変換器 10, 10', 変成器 11, 切換装置である回転整流子 14, 17, 増幅器兼リミッタ 15, 周波数弁別器 16 が示されている。



第 9 図

そしてこの発明の装置の動作を示す第 10 図で、曲線 A と B は導体  $bb'$  にあらわれる位相の異なる波を示し、整流子 14 で曲線 C になる。リミッタ 15 で曲線 C を D に示す方形波に変える。周波数弁別器は所定周波数で零出力を、所定値以下で負電流を、所定値以上で正電流を出す形式のものである。

曲線 E は整流子 14 の周波数の方形交番波で、電位  $E_e$  の振幅は曲線 A と B との間の周波数推移の大きさと整流子 14 の周波数の関数であるから、整流子 14 と同時に作動する整流子 17 で指示装置 18 への導体  $e$  について切り換えれば、位相差の大きさ、方向を指示することができる。



第 10 図

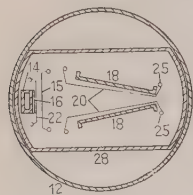
### 117. ビーム偏向形電子放電装置

特許公報 昭 35-17169  
発 明 者 M.B. Knight  
特許権者 R.C.A.

この発明は改良された変調、復調、周波数変換などの作用をするビーム偏向形電子放電装置に関するもの

である。

この発明の実施例を示す第 11 図で、真空容器 12 内には電子放出面 16 を持つ陰極 14 と、その延長上に針金を巻いて作った半格子構造の制御格子 22、加速格子 15 があり、陰極-加速格子空間は電子ビームを少なくとも偏向されずに電子放出面からだいたい



第 11 図

直角に向けられたときにリボン状にして加速する作用をする。

また、一對の金属薄板製陽極板 18 をビーム路の両側に沿って置き、一對の格子状の偏向電極 20 を陽極の内側に陽極とだいたい平行に配置する。

この発明の装置は偏向感度が直接ビームの集束に左右されないから、従来の電極構造の偏向制御管に応用できなかった感度を増大する方法、たとえばビーム速度を遅くしたり偏向電極を長くし互に接近させることが可能である。

なお、管状シャヘい体 28 は電極全体を外部の磁界からシャヘいしている。

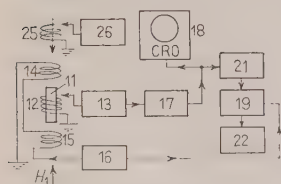
## 118. 磁気吸収磁束計および磁界傾斜計

特許公報 昭 35-17193

発明者 William Earl Bell

特許権者 Varian Associates

この発明は磁界測定装置に関するもので、その実施例を示す第 12 図で、高透磁率磁心 11 は発振検知装置 13 の共振回路中の誘導コイルである無線周波コイル 12 の内部に置かれ、またコイル 12 と同軸に一對の掃引コイル 14、15 が置かれて可聴周波掃引発振器 16 に接続されている。そして既知の磁界を発生するコイル 25 がコイル 12 と同軸に置かれており、



第 12 図

発振検知器 13 の出力は増幅器 17 を通して陰極線オシロスコープ 18 の垂直偏入力に接続されている。1 Mc ぐらいの無線周波エネルギーが発振検知器からコイル 12 に加えられ、また 60 c/s ぐらいの周波数がコイル 14、15 に加えられると磁心 11 によるコイル 12 からのエネルギーの吸収に周期的変化を生じ、磁心に重ね合わせ磁界がないときはオシロスコープ上の波形は対称であるが、重ね合わせ磁界があるときは波形がくずれる。そのときにコイル 25 に電流を流して既知の磁界を作り、未知の磁界を打ち消してオシロスコープ上の波形が対称になったときに既知の磁界により未知の磁界を測定する。

## 119. 超広帯域ハイブリッド回路

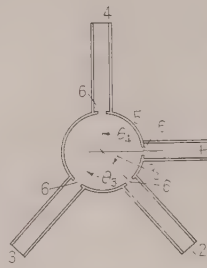
特許公報 昭 35-18305

発明者 増田孝雄

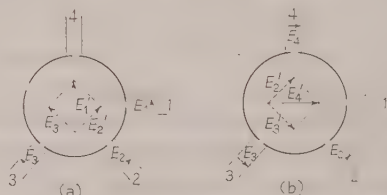
特許権者 電電公社

従来、マイクロ波帯で用いられているハイブリッド回路にはマジック・ティー、ラット・レース回路、3 dB 結合の方向性結合器などがあるが、これらの回路は広帯域特性が充分でなかった。

この発明は上記の欠点を除くための超広帯域ハイブリッド回路であって、第 13 図に示すように、円形導波管 5 に分岐方形導波管 1~4 を窓 6 を介して結合したもので、これらの中心軸は円形導波管 5 の中心から放射状をなしており、図面



第 13 図



第 14 図

の矢印の方向に  $\theta_2$  は  $\pi/4$  に、 $\theta_3$  は  $3\pi/4$  に、 $\theta_4$  は  $\pi/2$  にしておく。この場合、第 14 図 (a) のように分岐方形導波管 1 に電界  $E_1$  をもった  $H_{10}$  モードを励振すると、円形導波管には電界  $E_1'$  をもった  $H_{11}$  モードが励振される。これは二つの等しい直角分力  $E_2'$  および  $E_3'$  に分けられ、分岐方形導波管 2 および 3 にそれぞれ  $E_2$  および  $E_3$  なる電界をもった  $H_{10}$  モードを誘起するが 4 には電界を誘起しない。同様に (b) 図のように分岐方形導波管 4 に電界  $E_4$  をもった  $H_{10}$  モードを励振すると、分岐方形導波管 2 および 3 にそれぞれ  $E_2$  および  $E_3$  なる電界をもった  $H_{10}$  モードを誘起するが 1 には誘起しない。他の分岐に対しても同様のことがいえる。したがって、窓 6 ならびに円形導波管 5 に適当な整合素子を付加すれば、原理的に周波数による関係を用いていないために、きわめて広い広帯域性をもったハイブリッド回路が構成できる。

## 120. 長距離送電線の充電方式

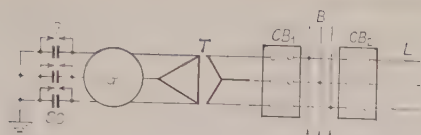
特許公報 昭 36-729

発明者 谷合清一

特許権者 東京芝浦電気

この発明は長距離送電線で発電端から無負荷充電電流を供給する場合や、発電端から試充電を行うときの発電機の自己励磁現象を防止するもので、第 15 図に





第 15 図

示すように、送電線路  $L$  の発電端発電機  $G$  に送電線路の容量リアクタンスにほぼ等しい容量リアクタンスをもつ直列コンデンサ  $SC$  を接続したものである。

従来の充電方式では発電機の充電容量は  $X_C \geq X_G$  ( $X_C$  は線路容量リアクタンス,  $X_G$  は発電機のリアク

タンス) となり、短絡比 1 の発電機で充電容量はほぼ発電機の定格 kVA に等しい。この発明では直列コンデンサの容量リアクタンスが線路容量リアクタンス  $X_C$  にほぼ等しく選んでいるので、 $2X_C \geq X_G$  となり、発電機の充電容量は約 2 倍となる。さらにこの発明のものは従来の送電線路の直列コンデンサの場合と同様に過渡安定度の向上に役立たせることができ、特に発電機端に直列コンデンサを設置しているので、送電線路保護用距離継電器の誤動作はなく、また発電機保護用保護継電器に対する影響はない。

## ニ ュ ー ス

### ◇ インドへ整流素子製造プラント輸出

セレン整流素子製造プラントが日本からインド初輸出され、ボンベイで去る 8 月末から本格操業にはいった。輸出したのはオリジン電気 (東京都豊馬区高田南町) で、輸出先は A.E.P. (Automatic Electric Private Ltd.) 社である。

A.E.P. 社はボンベイにあり、創業後日は残いが、技術水準ではインド屈指の電機メーカといわれ、セレン整流器や工業用電気計器の製造を行なっている。最初ドイツから輸入していたセレン整流器を、昭和 34 年以來オリジン社のものに切りかえて輸入、整流器を組み立て、主として電信電話、鉄道関係に納入している。一方、西独からセレン蒸着装置、サンドブラスト装置その他を輸入、数年間整流素子製造の研究を続けてきたが成功しなかった。

34 年 5 月、両社間に調印が行なわれたが、インド政府の許可は本年 4 月によくおりた。しかし、同じボンベイにあるhind・レクチファイヤ社とイギリスのウェスティングハウス社との間のプレス法による整流素子製造に関する技術提携が一足先に許可になったため、インド政府の正式許可の前からプラント製作を開始し、インド人技術者 2 名を日本に招いて教育するなどの手を打ち、正式許可と同時にプラントを輸出、8 月引き渡しを完了した。

プラントは蒸着法によるもので、現在のインドの全需要の数倍の能力を持っている。技術水準の低い現地技術者が容易に操作できるよう工夫され、また高温多湿の気候を考慮して設計されている。現在インドでセレン整流素子を製造しているのは上記 2 社だけである。

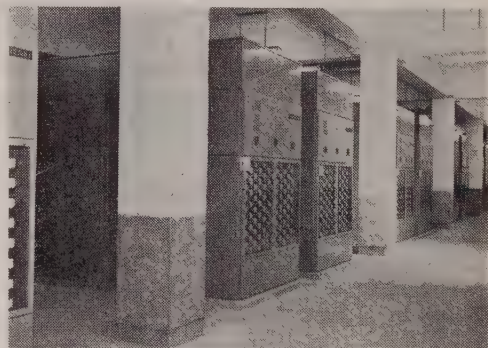
### ◇ アルミ精錬用のシリコン整流装置

去る 8 月、住友化学名古屋工場でアルミニウム精錬

用シリコン整流設備が運転を開始した。

78,000 kW, 650 V, 120,000 A の半導体整流装置で、世界最大のものである。

本整流装置の構成は 650 V, 20,000 A のシリコン整流器 6 組からなり、100,000 A のアルミニウム電解炉に直流を給電する。整流素子は PLV=1,000 V, 出力=200 A のものを使用し、総計 24 箱のアルミニウ



パンタグラフ形断路器

ム製キュービクルに収容され、建屋屋上から導入された空気により強制冷却される。整流装置の出力電圧は負荷時電圧調整変圧器と、特殊鉄心を使用した電圧調整リアクトルとにより 100 % の電圧調整が行なわれ、電解炉数ならびにその内部抵抗値の変化に対応して、出力電圧を自動的に調整し、電解電流を常に一定に保持する。

各機器の接続導体にはすべてアルミニウムを使用し、全装置の総合効率率は 97 % を上回る。

本装置の電源は 140 kV 受電であり防音壁やヤンセン式タップ切換装置付きの 2×50 MVA 変圧器および敷地の節約のためパンタグラフ形断路器を採用している。受電設備および整流設備とも富士電機製である。写真は同整流装置

◆ 京都に分速 210 m の  
超高速エレベータ

京都国際ホテルで、分速 210 m という超高速エレベータが運転を開始した。このエレベータは三菱電機が受注、掘え付け中の 8 台のうちの 2 台で、わが国最高の速度である。

このような超高速のエレベータの技術的焦点は、加速・減速に要する時間が短くて、生理的にも不快感を与えず、運転が円滑であること、過速度その他の非常時態に際しても、充分な安全性を備えていることが必要であるが、このエレベータはロトリール方式の採用によってこれを解決した。仕様の概要は次のとおり。

駆動方式	直流可変電圧歯車なし式ロトリール・シグナル・コントロール
定員容量	22 名 1,450 kg
速 度	210 m/min
扉 方 式	4 枚扉 中央開
カゴ室寸法	(間口) 2,330×(奥行) 1,700 mm
出入口幅	1,600 mm
昇 降 程	35.5 m
停止箇所	地下 1 階、1 階、屋上 (展望台)

◆ 家庭用電気器具の全国普及率

日本電機工業会では、このほど本年 7 月 1 日現在における家庭用電気器具の一般家庭に対する全国普及率をとりまとめた。この調査は昨年 7 月 1 日現在の世帯数 (昭和 35 年 10 月 1 日現在の国勢調査による世帯数を基準として推定) 21,025 千世帯 (準世帯を含む) と各製品の総普及台数をもとにしたものである。

これによると、たとえば電気アイロンは 78 %、電気洗濯機は 30.7 % の普及率を示している。また電気冷蔵庫も 12.5 % と昨年 7 月 1 日現在の普及率 7.5 % を大きく上回っていることが明らかにされている。調査結果は次表のとおりである。

機 種 別	昭和 36 年 7 月 1 日現在		35 年 7 月 1 日現在
	総普及台数	一般家庭に対する普及率	一般家庭に対する普及率
電気アイロン	22,472 千台	78.0 %	72.3 %
電気洗濯機	6,533	30.7	23.8
扇 風 機	7,574	29.4	21.7
電気あんか	8,926	27.9	21.7
電気こたつ	7,969	30.0	21.6
電気ストーブ	1,482	5.8	4.2
電気冷蔵庫	2,780	12.5	7.5
電 気 が ま	7,800	34.9	26.1
電気掃除機	2,150	9.7	4.9

◆ 電線の出荷実績新記録

電源開発の進捗、電力輸送網の拡充、電電公社の 5 カ年計画の進展、各工場事業場の新增設、家庭電化器具の普及などで電線の需要は著しい伸張が見られ、電線の出荷実績も新記録となった。昭和 34 年度と 35 年度の比較表は次のとおり。

わが国の電気銅全生産量は (通産省統計による)  
昭和 34 年度 (昭和 34 年 4 月～35 年 3 月)  
211,534 ton  
昭和 35 年度 (昭和 35 年 4 月～36 年 3 月)  
257,482 ton

		(銅量単位: ton)	
		昭和 34 年度 (昭和 34 年 4 月～35 年 3 月)	昭和 35 年度 (昭和 35 年 4 月～36 年 3 月)
品 種	内 訳 省 略		
	綿 ゴ ム 線	10,822	10,725
	プラスチック線	45,834	63,367
	合成ゴム線	3,312	4,381
巻 線		40,797	51,057
電力ケーブル	ベルトケーブル	3,210	3,844
	SL ケーブル	805	1,519
	低ガス圧ケーブル	42	156
	OF ケーブル	1,562	2,088
	パイプケーブル	53	64
	PE 電力ケーブル	938	1,431
	プラスチック電力ケーブル	5,046	6,967
	その他電力ケーブル	99	101
	小 計	11,755	16,170
	市内ケーブル	11,724	16,340
通信ケーブル	市外ケーブル	1,038	726
	搬送ケーブル	378	396
	プラスチック市内	2,549	4,226
	プラスチック市外	2,526	3,086
	プラスチック高周波	628	490
	プラスチック局内	724	1,237
	幹線用同軸	1,039	553
	その他通信ケーブル	54	33
	小 計	20,660	27,087
裸 線		44,056	55,926
合 計 銅 量		177,236	228,713
合 計 金 額 (千円)		119,622,372	151,922,356
アルミ電線類合計		11,665	16,657
" 金額		4,609,733	6,366,950



電線使用分は昭和 34 年度は電気銅総生産量の 84% 35 年度は 88.8% に及んだ。不足量は他業界のものも合わせて昭和 34 年度は 29,359 ton 輸入し昭和 35 年度は 59,712 ton 輸入した。

電線としては 34 年度の約 30% 増、神武景気といわれた昭和 31 年度の 198% 約 2 倍という数字になる。

### ◇ 全国加入者ダイヤル化の準備進む

電電公社では現在全国加入者ダイヤル実施の準備を着々と進めており、その最大の障壁となっていた現行の市外電話料金制度は明年秋を期して全面的に新制度に切り換えられることとなった。新料金制は、(1) 大正 13 年以来実施されていた 3 分制の市外通話の課金時分を改訂して「距離別時間差法」(距離に応じて単位となる料金で通話のできる時間をかえる方法)とした。これによって遠距離通話の課金も容易となり、また遠距離でも短い通話であれば安い料金で通話できるようになる。(2) 市外通話の課金距離の測り方をすべて直線距離によることとし、料金計算の機械化を容易にした。などの点を根幹としている。これによって、従来 60 km 以下の近距離区間に対してしか自動即時化が行ないえなかったのを、全国的に拡大することができるようになった。

また全国加入者ダイヤルを実施するための基本計画としては、損失配分計画、全国市外選択数字計画などがある。前者についてはすでに決定を見て、その基本方針に基づき全国の回線網、交換網を整備しつつあるが、後者については昨年末、現行番号改訂の方針が決定した。新番号計画は、(1) 市外通話を行なう場合、全国どこに対しても初めに“0”をダイヤルすることとした。(従来の計画では近距離“0”、遠距離“00”)(2) 全国番号を 9 数字とした。(従来は 8 数字)従って市外通話を行なう場合“0”+全国番号 9 数字をダイヤルすることにより全国のいたるところに直接加入者の手によって接続しうる準備がととのったこととなり、今後の施設の整備、拡充によって順調に加入者ダイヤルによるサービス範囲を拡張できるようになった。

新番号への切り換え時期は関東地区では今年 10 月を目途として準備が進められており、東京“03”はそのままで、その他は“0”の次に“4”がそう入される。(たとえば横浜“05”は“045”)その後約 1 年間程度で全国の切り換えを完了する予定である。

### ◇ 鹿児島一那覇間マイクロ回線の建設具体化

沖縄島民待望の鹿児島一那覇間マイクロ回線建設計画がいよいよ具体化し、昭和 38 年 3 月完成を目途として作業が進められている。

琉球島内の設備は「本邦と沖縄との間の電気通信に必要な電気通信設備の譲与に関する法律」に基づき日

本政府が約 1 億 4 千万円の経費、日本電信電話公社が約 1 億 4 千万円の電気通信用資材、琉球政府が約 4 千万円の道路、局舎など基礎設備費を支出して作製される。このうち、基礎設備は日本電電公社の指導により琉球電電公社が、また電気通信設備はすべて日本電電公社が設計施工するもので、昭和 36 年 8 月 1 日これに関する日本政府—日本電電公社間の契約が成立した。

この工事は、去る昭和 36 年 9 月末開通した鹿児島—那覇間電話回線(本年 3 月号本欄既報)とは別に、鹿児島—那覇間に NHK 用テレビ中継線 0.5、鹿児島—那覇間に沖縄民放用テレビ中継線 0.5 および電話回線 1 の現用システムとこれに必要な予備システムを増設するものである。

電話は鹿児島—首里間をマイクロ、首里—那覇間を市外ケーブルとし、テレビは鹿児島—那覇間をすべてマイクロとする。大浦—那覇間と油井—多野間が見透し外区間でそれぞれ中之島、徳之島による山岳回折伝搬を利用する。見透し外区間ではテレビに 1,000 Mc、電話に 2,000 Mc を、見透し内区間には公衆通信用マイクロ波バンドが使用され、琉球島内で使用する周波数についても既に米国民政府の了解が得られている。

見透し外区間の大きな伝搬損を補うための大口径高利得空中線、高出力送信機、パラメトリック増幅器、スペースダイバーシティ方式、あるいは油井岳局の高電力送信所の無人化および無電源地用自家発電設備など公衆通信回線としてはわが国初めての方式が採用さ



鹿児島—那覇間ルート

れる。この回線は将来予備を含めテレビ 0.5×5 システム、電話 5 システムに増設できるよう考慮されている。

### ◆ 米国で FM ステレオ放送の方式決定

米国における FM 放送は、1941 年の放送開始以来一時ブームはあったが、その後次第に局数も減り、つい最近までは久しく沈滞していた。しかし FCC(米国連邦通信委員会)が FM ステレオ放送の検討を開始するにおよんで、再び活況を取り戻し、本年 4 月 19 日には FCC が正式に FM ステレオ放送方式を決定し、本年 6 月 1 日から放送開始を許可、すでに 2、3 局が放送を行なっている。

FCC が決定した方式は AM・FM 方式 (GE・ZENITH 方式) といわれ、AM (振幅変調) された抑圧搬送波を使う方式の FM ステレオで、主・副の二つの搬送波を持ち、主搬送波は左のマイクロホン信号  $L$  と右のマイクロホン信号  $R$  との和の信号、および副抑圧搬送波 (38 kc) の両側波帯で FM (周波数変調) される。

副搬送波は  $L$  と  $R$  との差の信号で AM された後に抑圧除去される。受信機での副搬送波の再生のため 38 kc の半分の周波数 19 kc がパイロット信号として主搬送波に FM されている。

以上の方式は FCC に提案された種々の方式の中から、従来の mono FM 放送との compatibility (両立性)、受信機の負担を少なくすること、ひずみなどの観点から GE 社、ZENITH 社の提案を基本として決定したものである。

しかしこの決定された方式について、GE 社、ZENITH 社はもちろんのこと、和と差の方式の基本特許を持つという CROSSBY・TECHTRONICS 社との間に FM ステレオ放送に関する特許をめぐる激しい争いが起きており、その成りゆきが注目されている。

いずれにせよ FM ステレオ放送の開始は、音声放送の夢を実現したもので、FM の将来を一段と明るくしたものである。

### ◆ 国産電子計算機に

#### 自動プログラムが完成

電子計算機のプログラムに対しては、計算機語でプログラムを直接書くことが繁雑であるので、計算機の命令記号を用いる代わりに、もっと覚えやすい記号や普通の言葉を使って、普通の数式や表現に近い形でプログラムを書く方法が、外国の計算機ではいろいろ行なわれてきた。このうちで最も進んだ方式にコンパイラがある。これを使って書いたプログラムは、計算機で計算するときに使うプログラムに、計算機を使って自動的に変換させることができる。

このほど日本電気では、同社の NEAC-2203 に用科学計算のためのコンパイラ 2203 NARC(NEAC

arithmetic compiler) を完成した。これによると、

$$x = (-b + \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a$$

という計算のプログラムは

$$X \Leftarrow (-B + \text{SQRT}(B \% 2 - 4 * A * C)) / (2 * A)$$

と書くだけでよく、プログラマは 1 命令ごとに命令記号やアドレスにわずらわされないですむ。

### ◆ 国産電子計算機の出荷 66 台

国産電子計算機を設備する企業が次第にふえている。電子計算機センターの調べによると、本年 6 月末現在、出荷 66 台、受注 27 台のほか、多数の引き合いが各社で進められている。

電子計算機による事務機械化は企業の発展に欠くことのできぬものとなってきたが、わが国の電子計算機は生産態勢を整えてからまだ日が浅く、外国製品にくらべて信頼感が薄かった。しかし、電子計算機センターの 1 年余の運転実績によって、国産機が充分実用に耐えることが実証され、国産機を導入する企業がふえてきたといつてよい。とはいえ、依然、これに倍する使用者が外国機の輸入を計画しており、ある会社では 1 機種で 70 台を上回るほどの輸入申請が通産省に出されている。しかし日本電子計算機株式会社が設立され、国産電子計算機のレンタル制が進められれば、国産機の導入も資金的にらくなるであろう。

#### 国産電子計算機の設置ならびに受注状況

(36-6 現在)

設 置	計 算 機 名	結 入 先
33-3	科 NEAC-1101	日本電気研究所
"	科 NEAC-1102	東北大学通信研究所
33-9	汎 NEAC-2201	日本電子工業振興協会
33-12	科 HIDAM-101	日立中央研究所
34-3	科 HIPAC-101	"
"	科 DAS	鉄道技術研究所
"	事 TOSBAC-2101	神奈川商工指導所
"	事 TOSBAC-2103	日本電子工業振興協会
33-4	事 FACOM-212	"
34-5	汎 NEAC-2203	"
"	事 HITAC-301	"
34-8	汎 NEAC-2203	東京電力
34-9	科 HITAC-102	電気試験所
34-12	科 MADIC-1	松下通信
35-2	事 FACOM-212	富士電機三重工場
35-3	科 FACOM-201	電電公社通信研究所
"	科 FACOM-202	東京大学理学部
"	汎 TOSBAC-3122	東芝小向工場
"	事 TOSBAC-4132	"
"	科 MELCOM-2200	九州大学
"	汎 NEAC-2203	日本電気
"	事 NEAC-2202	山一証券
"	科 MELCOM-3409	東大原子核研究所
"	科 NEAC-1103	防衛庁技術研究本部
35-6	科 FACOM-201	東京理科大学
35-8	科 HIPAC-101	日本科学技術研究所
"	科 HIPAC-102	京都大学
"	事 HITAC-301	日立戸塚工場
35-9	事 TOSBAC-2122	東芝小向工場



設 置	計 算 機 名	納 入 先
"	事 TOSBAC-2102	"
"	科 HIPAC-101	日立本社
"	汎 NEAC-2203	日本技術開発
"	事 NEAC-2202	山一証券
35-10	事 FACOM-212	関西電力
"	科 HIPAC-101	日立中央研究所
"	事 HITAC-301	日立本社
"	科 HIPAC-101	日本ビジネスコンサルタント
"	科 HITAC-102	経済企画庁
"	事 NEAC-2202	(3台) 山一証券
35-11	事 NEAC-2202	"
35-12	科 MELCOM-1101	三菱電機
"	科 MELCOM-1101 F	"
"	汎 NEAC-2203	住友金属工業
"	汎 NEAC-2203	武田薬品工業
36-1	汎 NEAC-2203	住友電気工業
"	汎 NEAC-2203	東洋工業
"	汎 NEAC-2203	郵政省電波研究所
36-2	汎 NEAC-2203	早稲田大学
"	事 NEAC-2202	(2台) 山一証券
36-3	科 MELCOM-1102 T	鉄道技術研究所
"	科 FACOM-202	東京大学物性研究所
"	科 NEAC-1103	日電玉川事業所
"	汎 NEAC-2203	通産省調査統計部
"	汎 NEAC-2203	名古屋大学
"	汎 NEAC-2203	東海大学
"	汎 NEAC-2203	大和証券
36-5	汎 TOSBAC-2102	東芝本社
"	汎 NEAC-2203	日電本社
"	汎 NEAC-2203	住友原子力
"	汎 NEAC-2203	アジア航空測量
"	汎 NEAC-2203	日電大阪
"	汎 NEAC-2203	住友生命保険
"	汎 FACOM-222	富士通電機センター
受注	事 FACOM-241	(2台) 関西電力
"	汎 FACOM-222	協栄生命保険
"	汎 FACOM-222	朝日生命保険
"	汎 FACOM-222	トヨタ自動車販売
"	汎 FACOM-222	大和証券
"	事 FACOM-212	富士電機本社
"	科 FACOM-202	トヨタ自動車工業
"	事 TOSBAC-3132	東芝本社
"	科 TOSBAC-3121	早稲田大学
"	事 TOSBAC-3133	東芝本社
"	事 TOSBAC-3131	東芝計算センター
"	事 TOSBAC-4231	西宮市役所
"	事 TOSBAC-4233	東芝計算センター
"	事 TOSBAC-4233	平和生命
"	事 TOSBAC-4238	東芝本社
"	事 TOSBAC-4233	西武百貨店
"	科 HIPAC-101	日立大阪計算センター
"	科 HIPAC-103	日立中央研究所
"	科 HIPAC-103	関西電力
"	事 HITAC-301	日本ビジネスコンサルタント
"	事 HITAC-301	日立本社
"	汎 NEAC-2203	住友化学工業
"	科 MADIC-II A	松下通信工業
"	科 MADIC-II A	松下電器産業
"	科 MADIC-II A	関西センター
"	科 LDI	大阪大学

種 類	設 置	受 注	計
事	20	13	33
科	24	9	33
汎	22	5	27
総 計	66	27	93

### ◇ 国鉄電化 3,000 km をこす

国鉄の電化は、明治39年中央線御茶の水—中野間が開通して以来55年を経て今日にいたったが、本年10月1日山陽本線倉敷—三原間(74km)の電化開通によって全電化区間営業キロは3,050kmとなった。これは国鉄全営業キロ20,500kmの約15%にあたっている。3,050kmのうち10km足らずの直流750Vの富山港線を除いて約2,580kmは1,500Vの直流電化であり約460kmが単相交流25,000Vの交流電化である。電化率はわずか15%であるが、電化区間の担う輸送量は全輸送量の旅客で56%、貨物で35%にあたり、電化線区が輸送業務上重要な役割をはたしているかがわかる。

また、スピードアップも電化電車化が進むにつれて各線区とも20~40%の速度向上が実施され、たとえば東海道線(東京—大阪間)では、昭和20年には10時間44分を要したが、現在は6時間半と40%の時間短縮となっている。そのほかフリクエントサービス、無煙化などサービスの向上も大きなものであろう。この機会に今後の計画について述べる。昭和34年に国鉄動力近代化調査委員会の答申が出され、昭和50年までの15年間に、国鉄全線の無煙化を実施して電化7,500km、ディーゼル化13,000kmとし、蒸汽列車を全部廃止すべきことが決定した。これを完成するには電化で車両(電気機関車、電車)約4,300両を含めて2,713億円、ディーゼル化で車両(ディーゼル機関車、動車)約6,000両を含めて2,152億円の巨費を必要とする。すなわち毎年330億円を投入することになる本年度よりこの方針にそって新5カ年計画にはいっており、昭和50年には生れかわった国鉄が見られることとなろう。

### ◇ 電電公社電気通信研究所で研究発表会

電電公社電気通信研究所では、11月29日(水)本社講堂(千代田区内幸町1の1電電ビル内)において、研究発表会を行なう。

これは同研究所の研究成果のうちおもなものについて一般に発表するもので、今後毎年行なう予定である。

日時および発表項目は次のとおり。

日時: 11月29日(水) 10.00~17.00

場所: 電電公社本社講堂(日比谷電ビル6階)

発表項目: C-12M同軸方式・市内PEFケーブル・600形電話機

なお各項目とも概要と各論にわかれており、おのこの担当研究者が発表を行なう。

(注) 事: 事務用計算機, 科: 科学用計算機, 汎: 事務科学兼用計算機

## 本 会 記 事

## 9 月 理 事 会

昭和 36 年 9 月 12 日午後 5 時 30 分から日本交通協会会議室にて開催、大西会長、宮本、阪本両副会長、山田、三好、木村、岡部、柳井、朽木、滝、岡村各常務理事、関支部長代 川辺君出席、長島参事、田野囑託、柏原、久田主事、長島、上杉書記および飯島通信教育会主事、栗原同囑託列席、次の事項を協議した。

## 1. 前回議事録の承認

2. 報告 (1) 7, 8 月決算, (2) 会員の異動, 雑誌発行状況, (3) 通信教育会事業, (4) 日本工学会所属事務研究会の改組, (5) 日本電気協会渋沢賞の審査状況, (6) 増資による株式割当状況等

## 3. 事務所拡張に関する件

前回の申合せにより各関係者と交渉の模様ならびに所要経費概算などにつき説明があり、協議の結果、電気クラブ 5 階 (98.56 坪) に移転し、現在の一階借室 (34 坪) を返却することに決定した。なお、必要経費の調達については、事業維持員各位に臨時会費としての出費を懇請することとした。

## 4. 事業維持員増加に関する件

前年の増加運動の際保留のもの、未開発のもの等につき口数の増加、新規加入勧誘等をしたい旨の説明があり、これを促進することとした。

## 5. 37 年度予算に関する件

事務所拡張、諸物価の値上りにより増額を要するもの、およびそれらの概算額につき説明があり、そのほか種々の意見があった。協議の結果次回までにこれ等の事項を勘案した草案を作成し更に検討することとした。

## 6. 創立 75 周年記念事業に関する件

総務理事提案の準備委員会の構想につき説明があり、これを了承し、更に具体的に人選案の作成を願うこととした。

## 7. 桜井資金細則に関する件

桜井資金選衡委員会作成の原案につき説明があり、協議の結果、原案通り決定した。

なお、桜井資金規程第 5 条の「70 万円以内」は「約 70 万円」と改訂されたいとの希望が、同選衡委員会から出ている旨説明があり、これを改訂することとした。

## 8. 大会の運営に関する件

支部の事情など不詳のものがあるので再調の上再考のこととした。

## 9. 中華民国工学会に関する件

標記学会 50 周年大会が 11 月に開催されるに当たり、招

聘状があった旨説明があり、適當の会員が渡台の際は、出席を願うこととした。

## 9 月 編 修 協 議 会

9 月 5 日 (火) 午後 4 時 30 分より日本電機工業会会議室にて開催。柳井幹事長、上之園、朽木、滝幹事、小林、堀井、日高、野村主査、森、藤井、田宮、川井副主査、小林 (春)、駒宮、志村、土手、沼崎、林、石合、柴田、吉雄、麻生、尾出、佐波、関根、原田、藤井 (新)、宇佐美、杉山、高原、松山、水利、石尾、木村 (代理)、中島、福井、松久、山中 (俊)、川西、馬場、東口、山中 (卓) 各委員、長島参事、長島、天野、川島書記出席。下記事項について協議した。

## 1. 編修細則、寄稿のしおり改訂の件

## 2. 雑誌体裁変更の件

## 3. 論文集発行に関する件

協議会に引続き編修委員会を開催し、下記 15 件の寄稿を採録と決定した。

「微分解析機による回路網シミュレーション」

「放電加工による衝撃力について」

「ホール効果利用による大電流ならびに特殊電力の測定」

「移動線の電子密度波形のマイクロ波測定法」

「橋梁上に布設された電力ケーブルの熱伸縮 (複合体の熱伸縮に関する理論的研究—その 1)」

「容量重ね放電による電気点火と放電形式に関する実験的研究」

「揚水発電の経済性について」

「並列導板母線における表皮作用」

「直流小電流測定用導体電流計」

「変形サイラトロン増幅器の跳躍特性」

「負帰還形サイラトロン増幅器」

「クーロン摩擦のあるリレーサーボ機構における振動現象」

「シリコン ツェナー ダイオードの降服特性について」

「界磁巻線間の相互インダクタンスを考慮したアンブリダインの動特性」

「強誘電磁器の電圧容量特性の直視による検討」

## 東京支部記事

電源開発・奥只見発電所見学会 8 月 25 日午後 1 時 30 分上越線小出駅前集合、地下発電所、開閉所など見学の後、大湯温泉にて一泊し懇親会を開催、翌 26 日朝食後解散した。参加者 41 名。

最近の保護継電方式専門講習会第 1 回講師打合せ



8月29日午後5時30分よりレストランとうきようにて開催、講習科目内容について協議した。

**東京支部大会小委員会** 9月5日午後5時30分よりレストランとうきようにて開催、申込論文の内容審査、分類および区分表の一部修正、座長並びにリポータの最終決定を行なった。

**リポータ打合会** 9月15日午後5時30分より日本交通協会にて開催、36年度東京支部大会における運営方針について協議した。

**国際電気規格に関する講演会 (IEC 1961 年大会報告)** 9月18日午後1時30分より日本電機工業会と共催で同講堂にて次記の講演会を開催した。参加者25名。

1. 国際電気標準会議について  
……………山下英男君 (電気規格調査会)
2. 電気機器製造者と国際規格  
……………佐藤一敏君 (日本電機工業会)
3. 国際規格の現況
  - (1) 水 車……………桑原 進君 (電源開発)
  - (2) 電気計器・計器用変圧器  
……………池田三穂司君 (電 試)
  - (3) 電圧標準・超高圧・電力用コンデンサ・避雷器・絶縁協調  
……………佐波正一君 (東 芝)
  - (4) 変圧器……………前川定雄君 (富士電機)
  - (5) 保護継電器……………藤井重夫君 (三菱電機)
  - (6) 輸送用電気設備……………福崎直治君 (国 鉄)

**最近の保護継電方式専門講習会第2回講師打合会** 9月20日午後5時30分より電気クラブにて開催、各科目間の内容調整・予稿分量などにつき協議した。

#### 四国支部記事

**通俗講演会** 7月25日、26日および29日、高松市、高知市ならびに松山市において開催。

参加者 各 50~100 名

1. 内外における最近の高電圧工学について  
名古屋大学 篠原 卯吉君
2. フランスにおける超高圧送電技術について  
名古屋大学 宮地 巖君

**専門講習会** 8月30日および31日にわたり新居浜市において開催、受講者 100 名

1. 自動制御概論 北辰電機 依田 昇君
2. プロセスプラントの自動制御  
北辰電機 遠山 武君
3. 電子自動調整装置  
北辰電機 宮地 鉄也君
4. データ処理装置 北辰電機 梶浦 正孝君

#### 北海道支部記事

**役員会** 8月23日午後2時から北海道電力会社会議室にて開催、次の事項を協議した。

1. 報告 (庶務、会計その他)
2. 富士鉄、日鋼見学の件
3. 通俗講演会開催の件 (10月中旬、室蘭市公会堂にて実施予定)
4. 36年度電気四学会支部連合大会開催の件、(10月26、27日両日、特別講演会を札幌市民会館にて実施予定)
5. 専門講習会開催の件
6. 一般講演会開催の件
7. 会員の倍加運動の件、その他

**講演会** 8月30日、31日の2日間にわたり、札幌市民会館会議室において、日本電気技術協会北海道支部、北海道炭鉱技術会電気部会、北海道電気協会と連合して開催した。

電気関係新製品紹介講演会

1. 最近の電動機用開閉器の進歩  
……………高橋淳之助君 (日 立)
2. 無接点制御の現況……………高橋淳之助君 (日 立)
3. O.F. 式変圧器について  
……………上田 寛君 (日新電気)
4. 架橋ポリエチレン電線について  
……………小岩 浩君 (住友電工)
5. 誘導電動機の速度制御方式に関する  
二、三の実例……………藤山 吉和君 (明 電 舎)
6. データ処理装置……………松本 吉弘君 (東 芝)
7. 最近の東芝コンデンサーについて  
……………中山 和人君 (東 芝)
8. E.F. 銅線について……………平野 慎吾君 (古河電工)
9. 表面波伝送路について  
……………河野 士修君 (古河電工)

#### 中国支部記事

**講演会** 9月6日午後2時から広島市、中国電力株式会社総会場にて開催、参加者 200 名

1. 直接発電について  
東京大学 福田 節雄君

**役員会** 9月6日正午から中国電力株式会社地下食堂にて開催、次の事項を協議した。

1. 電気四学会中国支部第12回連合講演会について
2. 会員勧誘依頼について

#### 事業維持員 (9月)

**入 会** 八幡製鉄株式会社社界建設本部 (3口)  
日本国有鉄道鷹取工場 (1口)

#### 正・准員 (9月入会)

**正員** (58名) 足立宜良、飯島澄生、石田次郎、一守益男、大沢 仁、大藪成人、大和田勝男、岡 陽一郎、片岡一夫、片岡 真、金沢勝行、川端信男、河合茂治、北林三郎、久下勝太郎、栗原 豊、郡司俊男、

小林政和, 小松茂雄, 近藤 弘, 佐藤 隆, 坂井敏男, 清水泰治, 篠原健一, 末松達也, 杉根千代二, 杉本 敏, 杉森英夫, 高橋典義, 高橋幸雄, 竹地三郎, 館 伯堯, 玉木 登, 東川恒久, 富塚 英, 中島和夫, 中村正孝, 野口 豊, 野原真一, 野村俊一, 長谷川繁男, 花形 澄, 藤川永生, 北条英雄, 増山 勇, 松岡秀雄, 松原義行, 丸山和伸, 宮 道夫, 宮上行生, 宮崎政一, 武藤克資, 本宮公男, 山崎 章, 山下富生, 吉江 充, 渡辺 茂, 渡辺俊典  
 准員 (48 名) 伊藤孝男, 稲村元士, 小川真次,

岡田 勲, 加藤孝行, 甲斐 実, 川上卓雄, 菊田健一, 熊谷哲雄, 栗原英明, 今野 強, 近藤芳行, 佐倉毅一, 佐々成人, 佐々木和夫, 佐々木六彌, 佐藤明一郎, 佐藤俊朗, 佐藤義男, 松庭壮好, 笹井康夫, 笹川真磋己, 皿井 慧, 下山尚明, 城 豊春, 菅 征雄, 菅原英一, 鈴木 朗, 鈴木 稔, 瀬川政広, 関 三郎, 田中秀一, 高田朋徳, 高橋俊朗, 成田 栄, 橋本恒雄, 福田幸弘, 藤井徳寿, 藤沢信也, 藤原利夫, 堀内 盛, 松尾重紀, 松本順男, 丸谷領一, 三宅八郎, 森田 公, 山田 巖, 淀川英司。

## 調 査 委 員 会 記 事

### 調 査 研 究 委 員 会

#### 運営委員会 (6月 15 日)

##### 1. 委員長・幹事更任について

学会役員改選の結果, 下記のように変更された。

(退 任) (新 任)

委員長 宮本茂業君 阪本捷房君  
 幹 事 荒川康夫君 桑原 進君

##### 2. 引継事項について

宮本前委員長より, つぎの事項が引継がれた。

(1) 技術委員会のわけ方, 分担内容について再検討を要すると思われる。

(2) 75 周年記念出版をひきつづき促進されたい。

(3) 調研(委)と編修(委)の協力体制については, 従来より種々検討を行ない, 一部実現されつつあるが, ひきつづき検討されることが望ましい。

##### 3. 専門委員会の新設および解散

[新設]

(1) シャ断器専門委員会(常置) 電気機器技術委員会よりの提案で, 猪狩同委員会幹事より趣旨の説明があり, つぎのような要望があって承認された。

○JEC, IEC との関連を規格調査会との間で調整されたい。○取り扱う範囲は, 高圧・低圧両者を含めるものとしたい。○設置後ただちに休会というようなことがないよう望む。○委員中 電研 2 名は, 電研 1 名, 超高研 1 名とすること。

##### (2) 直流き電回路保護方式専門委員会(調査)

電気鉄道技術委員会よりの提案で, 川上同委員会委員長より趣旨の説明があり承認された。なお問題がメーカーの問題となったときはメーカー側委員を追加する。

##### (3) 絶縁材料コロナ劣化専門委員会(調査)

電気化学・電熱技術委員会よりの提案で, 鈴木同委員会委員長より趣旨の説明があり, つぎのような意見があった後承認された。

○所属する技術委員会の当否について意見の交換があったが, 技術委員会のわけ方, 分担事項については

後日検討することとし, 一応電気化学・電熱技委に所属することとした。

○各分野に関連があるので, 運営にあたって連絡に注意すること。

[解散] シャ断器専門委員会(調査)

##### 4. 技術委員会 1 号委員改選

電気材料・電線・電気鉄道・電力応用・照明の各技術委員会より提案があり承認された。

##### 5. 75 周年記念出版について

(1) 記念出版要項につき審議を行ない, これを承認した(出版物名称は未定)。

##### (2) 委員の変更

電力応用 三山 醇君→井上清二君

電子回路 川上正光君→森脇義雄君

(3) ページ数はだいたい年報の 3~5 倍くらいを予定し, 詳細の割当ては項目が定まってから行なう。

##### (4) 進行予定をつぎのようにした。

主査より執筆項目および

執筆者案提出	36 年 9 月 15 日
委員会で協議・決定	36 年 11 月
委員長名で執筆依頼状発送	37 年 1 月
執筆者から主査へ原稿提出	37 年 10 月
主査から委員会へ原稿提出	37 年 12 月
幹事校閲	38 年 1 月
索引作製	38 年 6 月
出版	38 年 9 月

#### 電力技術委員会 (8月 14 日)

1. 来年の連合大会シンポジウムの題目については, 「水力発電機器の進歩」とし, 内容については他部門と重複しないよう桑原委員に一任した。

2. 開閉サージ専門分科委員会の新設について, 広瀬委員より趣旨の説明があり, 高電圧試験専門(委)内に, 本分科委員会を設置することを運営委員会に提案することとした。

3. 高村委員長より辞任の申し出があり, 後任委員長に藤波恒雄氏(公益局)が推せんされ, 委員会として



はこれを了承、運営委員会に提案することとした。また、木村・伊藤委員は重任し、佐波・乗松委員は任期満了となるので、後任委員の推せんを依頼することとした。

#### 電波分光専門委員会 (6月24日)

○今回はわが国の電波分光装置の現状の概観をこころみた。報告は下記の6件であった。

1. 24Gc 帯におけるスーパーヘテロダイン形 ESR 分光計 広野 究氏 (応用電気研究所)
2. 沖電気におけるミリ波帯分光装置について 青井三郎氏, 浅井滋夫氏, 加藤 澄氏, 林 良一氏 (沖電気)
3. K バンド高安定送受信装置 荷口委員, 石井宗典氏, 山口光太郎氏 久保田喜郎氏 (昭和電子)
4. 東京電気精機における電波分光装置開発の現状 森 亮氏 (東京電気精機)
5. NMR, ESR の現状 関委員, 小中敏康氏, 宮前輝夫氏 (日本電子)
6. 新しい NMR の検出方式 小池康博氏 (日立)

#### 放電専門委員会 (8月2日)

○湿度と耐コロナ性の関係について原氏 (三菱電機), 外部コロナによるポリマーの劣化の抄訳について岡本氏 (電力中研), 固体絶縁物材料のコロナ放電による酸化劣化特性について加子氏 (日立) より, それぞれ説明があり討論を行なった。

○つぎに鳥山委員長より, 絶縁材料のコロナ劣化委員会が新しく発足したが, この委員会は主として劣化を化学的に考察していくつもりであり, 従来の放電専門委員会の委員もオブザーバーとして出席されたい旨の発言があった。

#### 電子管専門委員会 (8月24日)

##### ○委員会

委員長より学会 75 周年記念出版行事の具体的なスケジュールの説明, および熱電関係の委員会の新設など, 技術委員会での決定事項の説明報告が行なわれた。

##### ○シンポジウム

宇宙通信の近況について 宮 憲一氏 (国際電電) 講演概要: 現在各国で計画されている衛星を用いた大陸間通信に関する技術的な内容, およびその問題点を具体的な数値をあげ詳細に解説された。

#### トランジスタ専門委員会 (8月28日)

○当委員会の IEC 諮問事項に対する検討結果の, IEC における取り扱いに対する報告

##### ○メサトランジスタの高周波等価回路について

#### 変圧器専門委員会

(8月17日)

○CIGRE Study Group Meeting (1961) の題目 “Corona detection in transformers” および “Ele-

ments affecting the thermal performance of oil-immersed transformers” に対する回答案につき討論し, 一応の決論を出した。

(9月14日)

○学会 75 周年記念出版の執筆候補に, 浅川・小川・大岡・村上氏を推せんし, 他部門とメーカー別の調整を考えて決定することにした。

○CIGRE 1961 年の討論点の最終回答が提出された。

○エレファント変圧器および中性点リアクトルについて各社の資料の説明があり討論を行なった。

#### 同期機専門委員会 (9月20日)

○JEC-114 改訂案審議 リアクタンスの飽和係数, 励磁電流算定法につき審議, 飽和係数については説明書案を作成, 特別標準委員会に送付した。

励磁電流については,  $X_p$  の算出法を早急にまとめることとした。

○同規格改訂案中, 内燃機関直結機の内部変位角規定案, 脱出トルク規定案に対する案を作成した。

○IEC, CIGRE 関係報告書の説明があった。

#### 誘導機専門委員会 (8月23日)

○誘導機の漂遊負荷損について

「漂遊負荷損」の技術報告原稿第2章「定義」の検討を行ない, JECをはじめてとした各国規格に規定された漂遊負荷損の定義と, その検討を載せることとした。第1章「緒言」は報告全体を検討し終えた後に改めて審議することとなった。

#### 整流器専門委員会 (9月18日)

○半導体整流器利用の電力用逆変換器の現状, 得失および将来性につき資料 No. 70 を用い説明があった。

○「資料 No. 71 制御シリコン整流素子 (その 1)」を用い, SCR の現状の一部につき説明があった。

○「資料 No. 72 シリコン整流素子における順方向パルス特性と漏れ電流について」を用いて, シリコン整流素子の表面状態とホール蓄積特性との関係につき報告があった。

#### 送電専門委員会 (9月6日)

○周期的間欠負荷の算定方法について打合せを行なった。4 種絶縁電線の計算例について検討した。

#### 変電専門委員会 (9月5日)

○屋内裸母線間隔の答申案について さきに幹事案を作成し各委員の意見を求めていたが, 今回回答のとおり, とくに異議はないので幹事案により答申することになった。

○変電所の騒音について 今回は各委員より資料提出がなかったので, 次回 (12 月頃) までに各委員よりの資料をとりまとめた上討議することにした。

#### 電力用通信電源専門委員会 (9月7日)

○静止形 AVR および誘導形 AVR 仕様基準 (原案) の第1回審議

○MG 方式交流無停電電源装置の仕様基準（原案）  
の第 1 回審議

#### 高電圧試験専門委員会

絶縁協調打合せ会（8 月 30 日）

○日立研究所で行なわれた棒ギャップおよび棒平板ギャップの緩波頭波放電特性に関する試験結果が報告され緩波頭波放電電圧決定法に対する提案があった。

○開閉サージ試験に関する問題点について検討された結果が、尾崎氏（電力中研）より紹介され、討論が行なわれた。

○ケーブルの開閉サージ耐力に関する AIEE の報告が紹介された。

○しゃ断器からみた許容開閉サージの大きさに対する IEC の提案が紹介され討論された。

固体電子応用専門委員会（9 月 11 日）

“マイクロ波帯でのホットエレクトロンの研究と応用” 青木昌治氏

マイクロ波帯で半導体内の電子の運動を利用してマイクロ波帯での応用を考えた。とくにホットになった電子の作用に注目して論じられた。

サーボモータ専門委員会（9 月 15 日）

○二相サーボモータの用語（案）中、(6) 特性について審議した。

絶縁材料照射専門委員会（9 月 6 日）

下記議題について各担当委員より紹介説明があり、個々の電気的性質の照射効果を現象を中心として文献紹介と最近の研究状況を調査することにした。その後具体的な高分子絶縁材料を中心に改質・劣化・照射時の仕様などについて研究調査を進めることにした。

1. 「放射線源および線量単位について」篠原委員長（理研）

2. J. B. Birless & J. H. Schulmann:

“Progress in Dielectrics, Vol. 2, p. 77~111” より  
の抜粋紹介 金指氏（電試）

電気設備防食専門委員会（7 月 4 日）

本委員会の構成ならびに仕事の範囲について、つぎのように決定した。

1. 委員会の構成メンバーについて 電機メーカ 5 社、使用者 10 社、電線メーカ 5 社とする。

2. 仕事の範囲について 防食対策研究の前提として、電気設備の腐食状況とふん囲気の実態調査と分類、ならびに文献調査を行なうこととする。実態調査は、本委員会に参加していない会社に対してもできる限り協力を求めることにする。調査の様式については、次回委員会で検討することにした。

直流き電回路保護方式専門委員会

（7 月 17 日）

最近の輸送量増大にともない、変電所のき電電流が大きくなり事故電流との選別が困難になってきたので、従来の保護方式に再検討を加える必要がある旨の

委員会設置趣旨の説明があった。委員長に鳳 誠三郎氏、委員に学識経験者、鉄道関係者が委嘱された。

#### 1. 議事

専門委員会の目的を審議し、実態調査内容に検討を加えた。

2. 調査対象会社には調査趣旨に合致しない面があるので、次回までに再検討することになった。

3. 事故電流の計算方法については時間不足のため、次回討議することになった。

（8 月 14 日）

○専門委員会の運営と報告について学会からの説明があった。

○前回再検討することになった調査対象会社を審議し、私鉄関係 22 社、国鉄 8 線区と決定した。

○事故電流の計算方法について討議したが、なお細部にわたって問題があり、計算例とともに解説した資料を提出の上、改めて検討することになった。

○各社からき電系統図などの参考資料を提出し調査の万全を期するよう考慮した。

核融合専門委員会（8 月 3 日）

○内田氏（日大）より外部磁界によるプラズマの圧縮と、それに関連した下記の諸問題について研究報告が行なわれ、討論した。

誘導放電による絶縁破壊、圧縮過程、最大圧縮状態、プラズマの変形、回転、逆向捕捉磁界の実験・理論両面より説明。

○日大の高温プラズマ発生装置を見学。

原子発電所制御専門委員会（9 月 12 日）

○電試・関電提出資料「OMR 形原子力発電所の制御系」につき説明があり、活発な議論が行なわれた。

○今後の委員会の方針について討論がなされ、ここしばらくは各種の問題を取り上げることとし、現在は統一テーマは決定せずにおくことにした。

## 電気規格調査会

規格役員会（8 月 28 日）

#### 1. 役員分担について

役員の分担を下記のように定めた。

（分 担）

会 長	山下 英 男	総 括
副会長	後 藤 以 紀	総務・普及・電気一般
同	田中直治郎	会計・普及・送配電
理 事	池 田 敬 三	電 線
同	大和田 武	{ J I S 関係
同	風岡憲一郎	{ I E C 関係
同	川 上 寿 一	同 上
同	斎 藤 幸 男	輸送用電気設備
同	鈴 木 重 夫	電気材料
同	高 村 善 博	電気計測
同	武 居 功	電気法規関係
		原動機



同	中路 幸謙	電気用品
同	丹羽 保次郎	通信規格関係
同	宮本 茂業	電気機器

## 2. 常置委員会委員改選について

下記のように変更することとし、その他の委員はすべて重任願うこととした。

○電気一般 委員 吾郷侃二(電機工業会)→

松谷繁雄(電機工業会)

○電気計器

委員 倉重正武(東電)→菊野恵一(東電)

〃 西野 治(東大)→寺尾 満(東大)

○電気機器 委員 堀一郎(東電)→花形 澄(東電)

○原 動 機

委員長 田中直治郎(東電)→武居 功(電発)

委 員 後藤清太郎(電研)→火力メーカより後任依頼

〃 武居 功(電発)→今井直次郎(富士)

○送 配 電 委員 和田昌博(関電)→今川 三郎(日大)

○電気材料 委員 黒田 正(電試)→宗像 元介(電試)

○電 線 委員 吾郷侃二(電機工業会)→

松谷繁雄(電機工業会)

## 3. IEC について

(a) 14 A (S) 1 に対する回答案を承認した。

(b) IEC General Meeting に出席した佐波氏(東芝)の国内体制に対する意見および岡村学会調査理事より通信学会の IEC 審議体制について紹介があり、種々意見の交換があった。

(c) 山下会長より、本年度 IEC の Council について報告があった。

### 電気用語標準特別委員会(9月6日)

○規格調査会総会に出席した百田幹事(山田委員長代理)より報告があった。

○電気専門用語集電気炉編の原案を審議した。

### 同期機標準特別委員会(8月11日)

○界磁電流算定法として現行規格では本文に一方法と付録に二つの方法があり、計三つの方法が示されている。このように多くの方法があることは混乱を起こすおそれがあるので、これらを統一したいという意見があり、さきに幹事から AIEE の規程を準用した改訂案が出された。その後、現行規格の方法を急に削除するのは時期尚早で、かえって混乱を招くおそれがあるということになり、結局第二読会案通り三つの方法を本文中に入れ、かつそれらの適用範囲を明らかにしておくことに一応決定した。また、単相機に対する計算法をも示すことにした。

○正相リアクタンスの定義を入れることにした。

### 水車標準特別委員会(8月25日)

○前回にひきつづき効率帯の書き方について討議さ

れたが結論をえられず、保留された。IEC, DIN, スイスルールの方法の比較を行なった。DIN は効率帯の書き方が明確であるが、IEC, スイスルールなどは明確に示されていない。

○測定方法の審議方針について討議された。原案を起草委員が作成し、それに対する意見を求め、その意見をとり入れて、起草委員が原案をさらに修正したものについて本委員会で審議することとした。電力中研の委員会の推奨規定のあるものについては、次回から本委員会において審議することとした。

### IEC 水タービン合同委員会(9月12日)

IEC 本部より送付のあった水車受入試験方法原案について審議し、細部については別として、全体としては賛成の意見を表することとした。

### 気中しゃ断器小委員会(9月6日)

○IEC 17 B (Secretariat) 43 Low-voltage motor-switching circuit breaker を検討し、日本の意見として提案すべき事項を定めた。

### 保護継電器標準特別委員会(9月13日)

○スイスのインターラーケンで開催された IEC の Meeting の議事概要が報告された。IEC の Document 41 (Sec.) 4 と 41 (Sec.) 5 に対する検討が行なわれ、使用温度範囲・電圧変動範囲・および定格電圧・電流値などは意見の一致を見、決定されたが、他の項目については Working Group を編成するなど、今後の検討方針を定めるにとどまった。また、IEC の Document 41 (Sec.) 6 用語に対して各国意見を11月1日までに提出することが決められ、委員会はまず問題点を摘出した。IEC への回答案は次回に審議する予定。

### 試験電圧標準特別委員会

#### 絶縁試験法小委員会(9月20日)

○資料絶-491-C “20 kV 試験用変圧器による油中コロナ測定法の検討に関する今後の問題点” 審議。

○20 kV 試験用変圧器を用いての追加試験の具体的内容、その計画を審議し、担当を決定。

○次回は 11 月頃を予定し、追加試験の結果によって“20 kV 試験用変圧器による油中コロナ測定法の検討原案を書き直し技術報告として提出する。

## 電食防止研究委員会

### 埋設鉄管防食小委員会(9月12日)

○木村・河合(代理)両委員から昭和 35 年度の水道管およびガス管の腐食統計について、また河合・中川・竹島各委員(各代理)から埋設鉄管の電気防食実施状況について調査報告があったほか、三砂委員(代理)から圧力形パイプケーブル用鋼管の陰極防食試験の報告があった。つぎに埋設鉄管電気防食指針について準備会作成案の提出があったのち、埋設塗覆装管試験法案について分科会作成案の審議が行なわれた。

# あなたの設計

によるプリント配線は 生産工程の合理化を促進し 優雅で高精度な製品をもたらします



キクスイの

プリント配線

あなたの設計に出来るべく プリント基板製造専門工場を有する菊水電波は すぐれた設備 技術 材料 のもとに 常に細心の注意をはらって 製造いたしております。

設備 ■ 新工場完成近し 1000坪 (10月より1部稼動) 新工場完成の時には月産20000m<sup>2</sup>の生産能力をカバーいたします。

技術 ■ ソルダーレジスト、シンボル印刷によるプリント配線板の合理化 (選択半田付可能、防湿防錆効果大、半田ディップ後の補修工程の省略可能)

材料 ■ 70μ 鋼箔の使用による低電圧大電流用プリント板材料豊富

## 株式会社 菊水電波

本社 東京都大田区馬込町西4-67 電話 (771) 9191 (代表)  
玉川工場 川崎市新丸子東3-1175 電話 (047) 8171 (代表)

## WIDEBAND DC AMPLIFIER

MODEL 112A

2 μv Stability for over 400 Hours

5 μv Noise

100 KΩ Input, 1 Ω Output Impedance

45V, 40 mA Output

40 kc Bandwidth

20 to 2000 Gain with Standard plug-in

Integral Power Supply

Equivalent Input Drift (After Warmup)...

.....Less than 2 μv for 400 hours.

Equivalent Input Noise

.....Less than 5 μv peak to peak from 0 to 3 cps.

.....Less than 5 μv RAS from 0 to 750 cps.

.....Less than 12 μv RMS 0 to 50 kc.

Input Impedance .....100,000 ohms, Output impedance less than 1 ohms.

Gain.....Ten steps from 20 to 1000 with continuous 1 to 2 times vernier adjustment of each setting.

Gain accuracy .....0.5% DC to 2 kc.

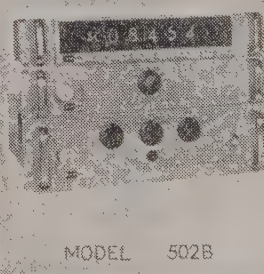
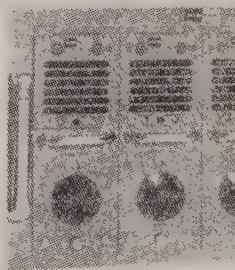
Micro-Gain.....Control permits adjusting individual gain setting to 0.01 % gain accuracy

Gain stability and linearity .....0.1%

Frequency response...±0.1 db to 2 kc, ±0.3 db to 10kc, less than 3 db down at 40 kc.

Output capability.....40 mA into 10 to 400 ohms, ±35 volts into 1000 ohms, ±45 volts into 10,000 ohms.

**KINTEL**  
A DIVISION OF  
**COHU**  
ELECTRONICS, INC.



AC/DC DIGITAL  
VOLTMETER

• ACCURACY  
AC V: 0.1% ± 3 DIGIT  
DC V: 0.01% ± 1 DIGIT  
• RANGE AC  
0.001 ~ 999.9V RMS  
30 ~ 10,000 cps  
• RANGE DC  
± 0.0001 ~ ± 1.000V

MODEL 502B

日本総代理店

## 兼松株式会社

東京支社 電子部

東京都千代田区丸の内1(東京海上ビル新館) 電話 (281) 6811 (大代表)

お問合せは...

総発売元

## 株式会社 菊水電波

東京都大田区馬込町西4-67 電話 (771) 9191 (代表)



# FM型サーキット・ブレーカー



600 A

400 A

225 A

100 A

50 A

30 A

完全電磁式

ノーヒューズ  
ブレーカー

フレーム:  
30 A ~ 1,000 A

## 特 長

- (1) 回路の安全確実な保護
- (2) 周囲温度の影響を受けません
- (3) 定格電流値が自由に選定できます
- (4) 即時再投入が可能です
- (5) 特殊な動作特性が製作できます

●遮断容量 2,500Aより  
30,000Aまで

**株式会社 日幸電機製作所**

カタログ進呈

東京都世田谷区玉川奥沢町1~285

電話 (721) 6191 ~ 5・3313

斯界に誇る完璧な総合技術が生んだ……

# OS ELECTRONIC COMPONENTS

あらゆる電子機器の高性能高信頼化を推進する新しき働き手です

OSサーミスタ

OSバリスタ

OS電気接点

株式  
会社

**大泉製作所**

本 社 東京都練馬区貫井町410 電話 (991) 1101 代表  
銀座営業所 東京都中央区銀座西7~6 福田ビル  
電話 (571) 8500

# 新バイメタル

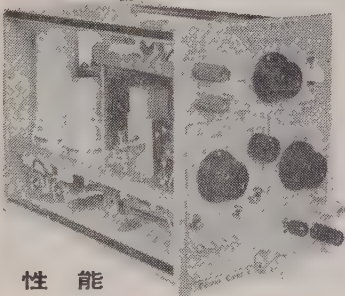
電気固有抵抗— $45 \mu\Omega / \text{cm}^3 \pm 3\%$   
 振——— $14 \times 10^{-6}$  ”  
 一般機械的性能 従来L-2同等品  
 価格 L-1(従来黄銅インバー)以下



## 神岡金属工業株式会社

京都連絡所 京都市左京区吉田神楽岡町8 TEL 夜間専用(7)2751・6408  
 本社・工場 京都市左京区静海市原町 661 TEL (78) 0 6 2 0

## トランジスタ- $f_T$ 直視 プラグインユニット

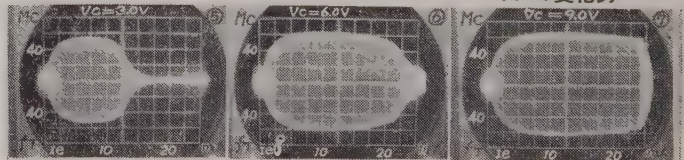


### 性能

測定周波数 10MC 1周波  
 $f_T$  測定範囲 2.5, 10, 20, 50, 100Mc/cm (5段切換)  
 コレクタ電圧 1~15V 連続可変  
 エミッタ電流 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0mA/cm (9段切換)  
 極性 PNP, NPN切換式  
 外形寸法 147(W) × 174(H) × 232(L)

エミッタ接地トランジスタの $\beta$ が1になる周波数( $f_T$ )が直視できます。

アロイディフュージョントランジスタのコレクタの電圧による  
 $f_T$  の変化例



No. 5 .....  $V_c = 3.0V$  Y軸:  $f_T = 20 \text{ Mc/cm}$   
 No. 6 .....  $V_c = 6.0V$   
 No. 7 .....  $V_c = 9.0V$  X軸:  $I_e = 2.5 \text{ mA/cm}$

製造元

### コナ電気株式会社

茨城県勝田市市毛 TEL (水戸) 8546, (勝田) 663

販売元

### コナ商事株式会社

東京都台東区車坂21 TEL (841) 0967, 5926

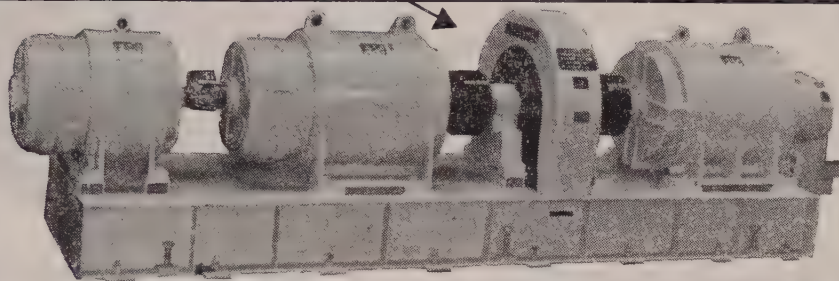


**Densei の  
主要製品**

交流・直流発電機・電動機  
予備電源装置  
無停電電源装置  
定周波定電圧装置  
各種通信用電源装置

自動電圧調整器  
受配電盤・整流器  
送風機・水中ポンプ・クリーナー  
シンクロ電機・制御機器  
電装品・家庭電器

電子計算機の電源として最も多く使われているクレーマ制御定周波装置

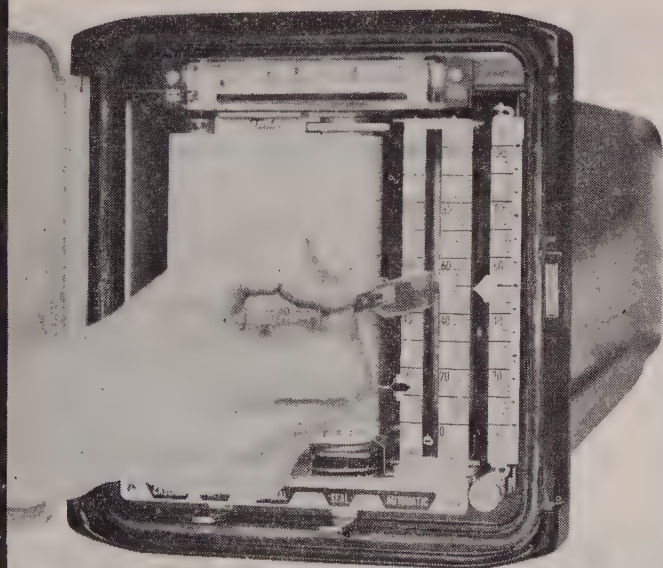


**日本電氣精器株式會社**

本社及向島事業所 東京都墨田区寺島町3-39 TEL. (611) 4111-9 / 大阪営業所 大阪市北区伊勢町34 (日清ビル)  
名古屋営業所 名古屋市東区久尾町5-9 (住友商事ビル) / 札幌営業所 札幌市北八条西1-1 / 福岡営業所 福岡市天神町58 (天神ビル)

*Taylor-Shimadzu*

生産  
開始



世界最初の  
グラフィック計器の創始者  
テーラー社の、そして  
世界最初の強力なペン駆動  
サーボマチック自動平衡受  
信部をもつ最新の

**テーラー島津計器**

トランスコープ

記録計 / 調節計 / 調節器

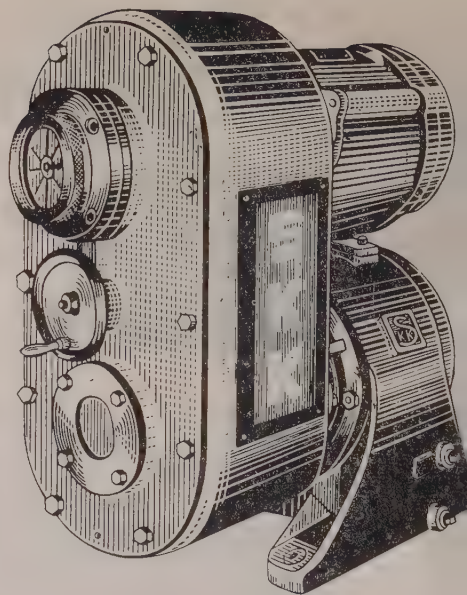


**島津製作所**

本社・京都市中京区河原町二条南  
支店・東京・大阪・福岡・名古屋・広島・札幌

変速機界のホープ  
**SKK**  
**"AIV" STEPLESS**

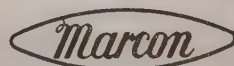
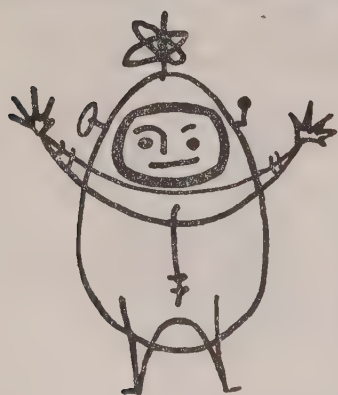
故障絶無  
 機構簡単  
 価格低廉



株式 精機工業所  
 密社

尼崎市塚口

米国DAYTON社製ベルト使用



20.6世紀のパイオニア……

月世界はパーツが征服します 産業の中の  
 エレクトロニクスから育ちます  
 そのパーツ……………

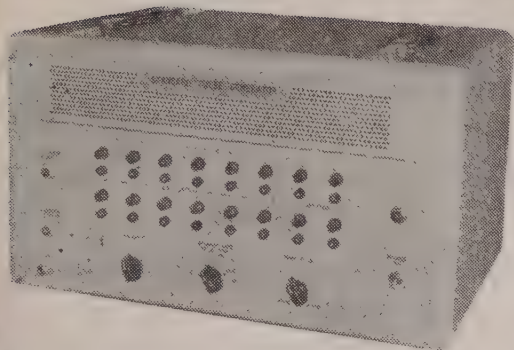
**マルコン=コンデンサ**

東京電器株式会社

東京営業所 東京都中央区日本橋本町4～9 TEL(201)9494(1)  
 大阪営業所 大阪市北区絹笠町50 TEL(34)872  
 東北営業所 山形県長井市宮1560 TEL(長井)213



# TIME-MARK GENERATOR



## 一 営業品目一

パルス応用各種測定器・多現象オシロスコープ・高周波電源装置・半導体関係測定器・パラメトロン関係測定器・標準時間発振器・微少時間統計機・医用電子管測定器・其の他超広帯域増巾器関係

1. 用途 オシロスコープの掃引時間の校正、信号波形の比較などに使用します。

2. 性能

2・a マーカ―出力

2・a・1 インターバル 0.1 $\mu$ s, 0.5 $\mu$ s,

1 $\mu$ s, 5 $\mu$ s, 10 $\mu$ s, 50 $\mu$ s, 100 $\mu$ s, 500 $\mu$ s,

1ms, 5ms, 10ms, 50ms, 100ms, 500ms

1s, 10s

2・a・2 確度 0.1%以下 (水晶)

2・a・3 出力 3V以上 (75 $\Omega$ )

2・a・4 極性 プラス、マイナス切換可能

2・b トリガ―出力

2・b・1 周波数 1Mc/s 100kc/s

10kc/s, 1kc/s, 100c/s, 10c/s, 1c/s

2・b・2 出力 2.5V (p-p) 50k $\Omega$

2・b・3 極性 プラス

3. 電源 AC 95V $\sim$ 105V 50c/s $\sim$ 60c/s

4. 消費電力 450VA

5. 寸法 約 540 $\times$ 370 $\times$ 300

6. 重量 約23kg

## 港通信機株式会社

東京都港区西久保八幡町10

電話 (431) 2762・2733

# 恒温恒湿装置

温度範囲 $-60\sim+70^{\circ}\text{C}$

調節精度 $\pm 0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$

湿度範囲20 $\sim$ 95%

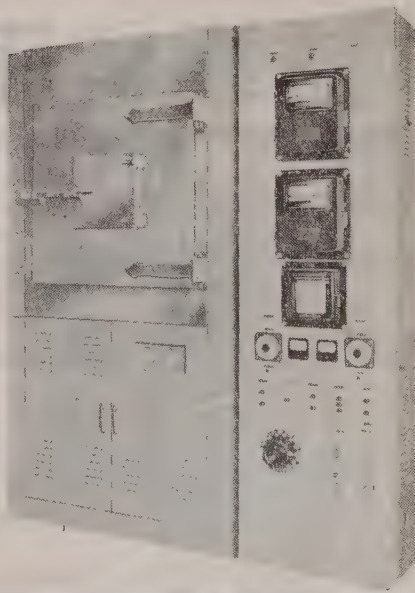
調節精度 $\pm 1\sim 3\%$

◆電気部品等の高温・低温サイクル試験

◆紙・繊維類の浸透試験

◆木材関係の温・湿度試験等にも好適

営業品目  
恒温槽  
低温槽  
自動温度調節装置  
自動温度記録装置



株式会社

八島製作所

東京都渋谷区本町4丁目11番地  
電話 (389) 3148(代表)・3149・3140

# 燐青銅 / 洋白

ベリリウム銅・モネルメタル

その他特殊銅合金



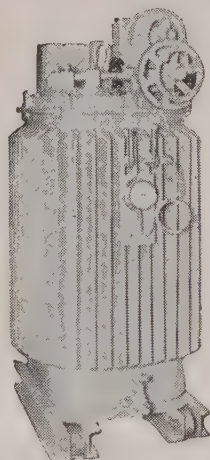
3222号



佐藤金属工業株式会社

本社 東京都港区芝浜松町3丁目5 電話 芝(431)7166(代表)  
工場 浦和市白幡 966 電話 浦和2611・3162

## 誘導電圧調整器



### 営業品目

電力用変圧器  
高圧変圧器  
単捲変圧器  
誘導電圧調整器  
ネオン変圧器  
直流高圧発生装置  
スポット・  
ウエルダー

インダクション・  
コイル  
テスラ・コイル  
S.O式電気浄油機  
鉄共振型定電圧装置  
計器用変成器、  
変流器  
雑音防止器  
油試験機

定格

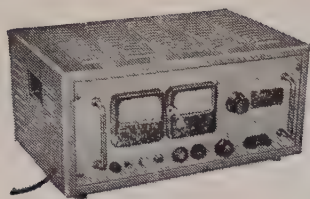
単相 50 $\sim$   
3,300V $\pm$ 50%  
容量 40kVA

株式会社 整電社

東京都渋谷区元広尾町1番地  
電話 東京 (473) 1687, 1860, 1861, 1862, 1863



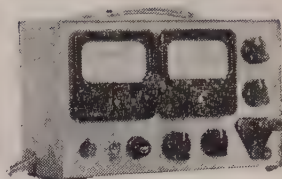
# オールトランジスタ安定化低圧直流電源



TP025-5型



TP030-10型



TPM025-03型

型 名	出力電圧	出力電流
TPM 025-03	0~25VDC	0~300mA
TP 025-5	0~25VDC	0~5A
TP 030-10	0~30VDC	0~10A

入力電圧 AC 50~60~ 90~105V

電圧変動 電源および全負荷変動に対し  
100mV以下

リップル 5mV以下

スイッチインと同時に始動

過電流安全装置内蔵



株式会社高砂製作所

営業部 川崎市二子662 TEL (701) 4391

(048) 3883

(048) 4111



## 長谷川の

## 配電線用撰擇接地

## 母線継電器

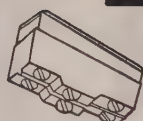
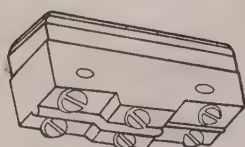
超高感度！ 誤動作絶無！

## 長谷川電機株式会社

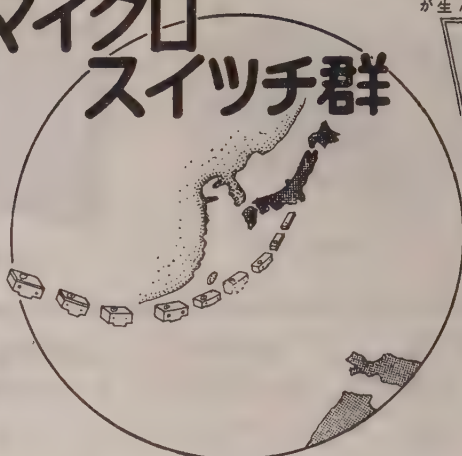
本社工場 大阪市東淀川区田川通2の32 電話 大阪 (301) 1534 代表  
東京連絡所 東京都千代田区大手町2の4 電話 和田倉 (201) 3005・3006  
福岡出張所 福岡市福陵町3 電話 福岡 (82) 2657

世界に燦然たり……

1960年



# 2極マイクロスイッチ群



日本の技術  
が生んだ

革新

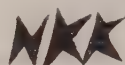
技術

世界で最初  
にして唯一

## 特徴と性能

この二極マイクロスイッチは本邦に於いては勿論、又その品種に於いては従来の単極の基本型と同一に総ゆる品種が完成致しましたことは世界でも最初の画期的なものです。この成功の理由は本器が応差の動き(M. D.)に於いて外国品の欠陥(応差の動きが大きいこと、これは二極マイクロスイッチが海外に於いても、国内に於いても普及されない理由の一つと考えられます)を完全に除去したことです。これは正しくマイクロスイッチの革命、新分野への黎明とまで云われる理由です。そして更らに特徴は次の如く追加されるのです。

- |                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| (1) 外寸、取付位置は単極基本型と同一                  | 耐 圧 1000V. A. C. 一分間     |
| (2) 機械的寿命は50万回以上、接点間隔は従来の単極品より広い。     | 絶縁抵抗 500V. 1000MΩ以上      |
| (3) 動作力、応差の動きも単極型と同一                  | 動作に必要な力 (O. F.) 300~450g |
| (4) 単極品を2ヶ並べて使用すると違いスイッチの投入、切断は2回路同時。 | 動作迄の動き (P. T.) 0.5MAX.   |
| (5) 規 格                               | 動作後の動き (O. T.) 0.13MIN.  |
|                                       | 戻りの力 (R. F.) 114g MIN.   |
|                                       | 応差の動き (M. D.) 0.01~0.15  |
- 電流容量 125・250V. 10A. A. C.



日本開閉器工業株式会社

東京都大田区馬込東3-644

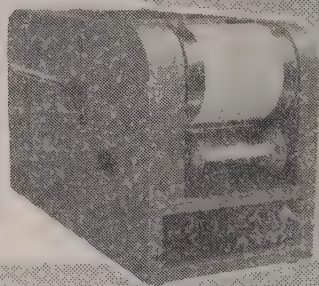
TEL 東京(771) 8841~2・8379

## 共和の電磁オシログラフとオシログラム自動現像機



### 営業品目

抵抗線歪測定器  
抵抗線式トルクメーター  
圧力計、荷重計、変換器  
加速度計、馬力計等  
カールソン型計器  
電子管式自動平衡計器



### MA型電磁オシログラフ

1. 電源は交流、直流共に使用可能
2. 暗室不要で白昼連続撮影可能
3. C. F型は、ガルバ系統が高電圧(3000V 1分間)に耐える

### OD型オシログラム自動現像機

1. 小型で取扱が簡便かつ暗室不要
2. 現像むらのない均一な調子に仕上がる
3. 現像後データの長期保存にも水洗不要

F.W.L

共和無線研究所

本社 東京都港区芝西久保保舟町19  
大阪出張所 大阪市北区京是町10(中之島ビル内)  
名古屋出張所 名古屋市中区岩井通り4の8(マスマビル内)  
福岡出張所 福岡市官内町25(官内ビル)  
札幌出張所 札幌市北一条東11丁目22

電話東京(501)代表2444番  
電話土佐堀(44)0058・0059番  
電話南(32)2596~8番  
電話福岡(3)5565・6390番  
電話札幌(2)7483番

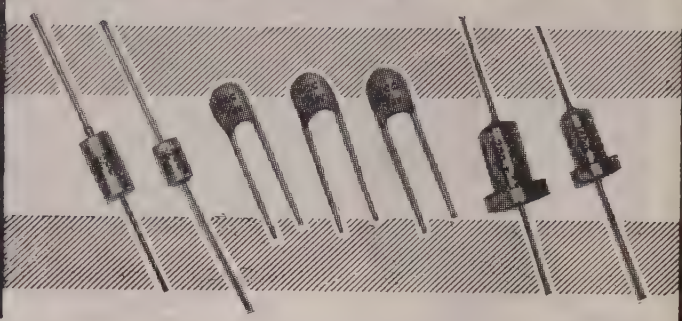
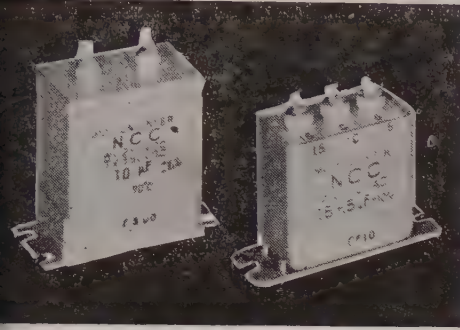


# NCC

## 高信頼度・高性能の

エレクトロニクス用  
オートメーション

# NCCコンデンサ



固体タンタル T A X 型 金属ケースハーメチックシール  
コンデンサ T A F 型 Epoxy Dip  
湿式タンタル T A C 型  
コンデンサ  
MPコンデンサ チューブラ、箱型  
各種フィルムコンデンサ  
オイルチューブラ シルバードマイカ

### NCC

(説明書贈呈)



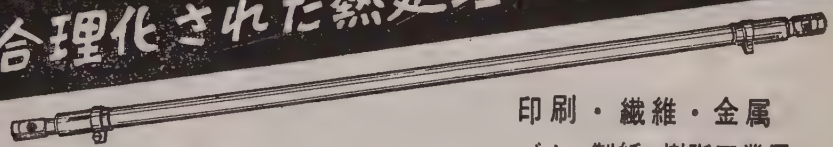
許可番号  
No. 3482  
No 5978

## 松尾電機株式会社

大阪府豊中市大字洲到止124 電話大阪(99)0828(代)・0829・0069  
東京都千代田区神田淡路町2の6 電話東京(291)4448-9



## 最も合理化された熱処理



### 遠赤外線ヒーター

## 乾燥器・自動制御装置

印刷・繊維・金属  
ゴム・製紙・樹脂工業用

赤外線・熱風乾燥装置  
各種コンベアー・配電盤  
各種ヒーター・計器類



遠赤外線焼付炉

### 永進電気株式会社

代理店 都福株式会社 大阪営業所

代理店 東京材料株式会社

東京都品川区北品川5-45-7  
電話東京141局7223(代表)

大阪市北区老松町1の17大建ビルTEL(24)6385

東京都中央区銀座東5-2TEL(541)5301代

電力管理に！

# ハアクテスター

WHA型 (挿込型交直電流計)



## 特長

1. 直流，交流何れも測定できます。
2. 回路を切らず本器をケーブルに挟むだけで電流値が分ります。
3. 交直両用30A～600A迄交流のみの場合1500A迄測定できます。
4. AC 6000V耐圧になっており高圧回路に使用できます。
5. 防衛庁，電々公社指定品です。

## 用途

造船，電気溶接，起重機，自動車配線，保線工事  
その他

(カタログ呈)



指示  
電気計器

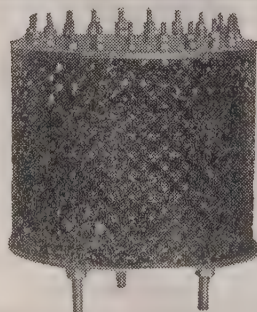


## 渡辺電機工業株式会社

東京都渋谷区神宮通2-36番地 電話 (401) 2281, 6141-4

## 磁気増巾器 定電圧装置 変圧器

高性能  
納期迅速

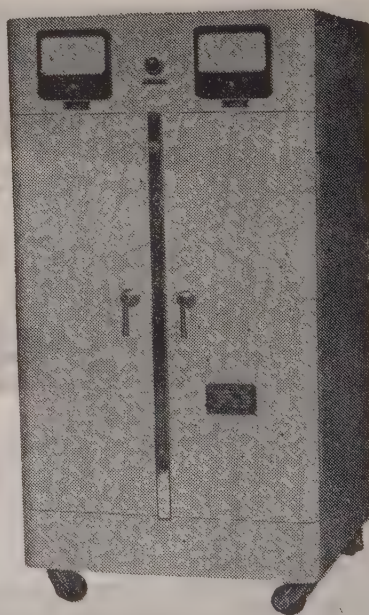


巻鉄心型磁気増巾器

磁気増幅器や可飽和リアクトルは寿命永久的で真空管のごとく故障の心配はございません。あらゆる自動制御に御利用下さい。

どんな特性のものでもお作りいたします。

変圧器・塞流線輪は無線通信機用，整流器用，医療機用，研究用等各種御要求に応じます。



磁気増巾器型低電圧装置

御申越次第カタログ郵送いたします。

## 鈴木電工株式会社

東京都豊島区西巢鴨3-810 電話 池袋 (971) 3071・8133  
第二工場 埼玉県戸田町上戸田南原2261 電話 蕨 (0889) 4841

SDK



多現象の記録には

HiSpeed シリーズ

多ペンレコーダー

GENERAL PURPOSE



多ペンレコーダー  
(B-80)

1枚の記録紙上に同時刻に起った  
2～6現象を同時に記録紙巾一杯  
に交又して実線ペン書で記録でき  
電子管自動平衡型でペン速度1/4秒  
以下です。

S I X  
RECORDERS IN  
ONE!

RDK

理化電機工業株式会社

本社・工場 東京都目黒区鷹ヶ崎町6-25  
TEL東京 (712) 3171 (代表)  
小倉出張所 福岡県小倉市大門町B-2  
TEL小倉 (5) 2671  
札幌出張所 札幌市北十三条東7丁目

スターライト



ALP

ふつ素樹脂製品

ポリ4ふつ化エチレン

- ▶ 棒 管 円筒 板 テープ
- ▶ 軸受 パッキング ピストンリング
- ▶ 絶縁・耐食・耐熱・耐寒・非粘着性
- ▶ 電気・機械・化学あらゆる工業材料

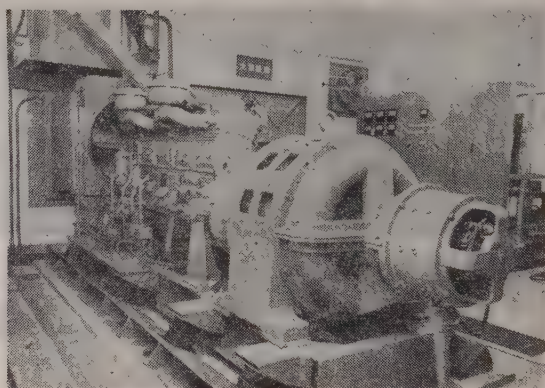
スターライト工業株式会社

本社 大阪市大淀区天神橋筋六の五(天六阪急ビル) 電話 大阪 (35) 5736・8102・7071  
東京支店 東京都中央区八重洲一の三(呉服橋三和ビル) 電話 東京 (271) 5501 代表  
製造所 大阪市城東区茨田徳庵町一七〇八 電話 大阪 (33) 9031 代表



# 工場設備の保全には...

**全自動制御予備電源装置  
定周波定電圧電源装置**



瞬時停電もない完全無停電電源！

動作確実な全自動予備電源！

精度の高い定周波電源！

詳細カタログその他御申越次第お送り  
申し上げます

## 山洋電気株式会社

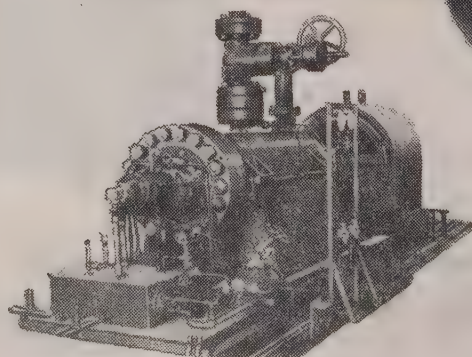
本社 東京都豊島区巢鴨6丁目1349番地  
電話 東京(982)5151~9番

## 発電 事業の心臓部で活躍する！

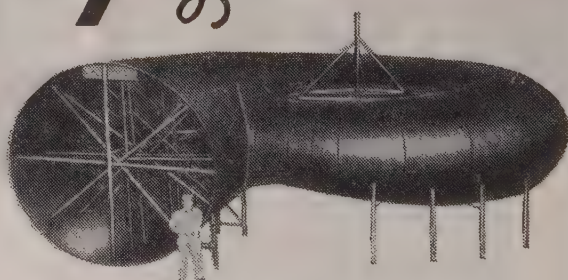
# エハラ の

### 火力発電用

送排風機  
汽罐給水ポンプ



二重胴型高温高圧・汽罐給水ポンプ



### 発電用水車



## 荏原製作所

本社 東京都大田区羽田旭町



40

余年の伝統を誇る卓越した技術、完璧の製品

二井の

## コンデンサ

## 営業品目

進相用 高圧	コンデンサ	蛍光・水銀灯用	コンデンサ
進相用 低圧	コンデンサ	衝撃電圧発生用	コンデンサ
高周波電気炉用	コンデンサ	O.F.式	
電話用並搬送用	コンデンサ	その他D.F.式	各種コンデンサ
無線用 各種	コンデンサ	M.P.式	

衝撃電圧発生装置

コンデンサ...弊社製  
装置...東京変圧器株式会社許可番号  
700  
5932

## 二井蓄電器株式会社

本社及び工場 東京都品川区大井寺下町1442番地 電話大森(761)8111~5  
大森工場 東京都大田区入新井5丁目 248番地 電話大森(761)2573  
大阪営業所 大阪市北区西扇町17番地(日扇ビル) 電話(34)8258~9  
九州出張所 福岡市萱堂町 25番地 電話(3)5380

正確—高感度—電力の節約—無騒音—完璧な温調

## 可飽和リアクトル(ICM型)

Input Power Control MAG-AMP  
自動入力調整器特許  
209094  
205945  
3209(A)

自動温度調節器

## 原理

ICM型の原理は可飽和リアクトルを基にした磁気増幅器式の温度調整装置である。操作部である可飽和リアクトルの原理は鉄芯に加える直流磁化力を制御して出力側の交流電圧、電流を変化調整し得る一種の誘導機器である。鉄芯に有するリアクトル(出力側)の交流インピーダンスが重畳された直流磁化力(制御電流)の値によって変化することを利用した電力増幅器である。

電力増幅器として働く操作部は調整器からの制御電流の大小により負荷電流の電源に対する同じ割合で変化調整される。



- 設定温度に応じて必要なだけの電力を連続して供給する。従って温度は飽和状態になって変動がなく完全恒温になります。
- リアクトルは構造が静止器であるから騒音がなく堅牢で消耗品もないので寿命は半永久的である。
- 必要な電力を供給制御するので消費電力を節約する。

## 特長

## 日本電熱計器株式会社

本社営業所 東京都千代田区神田美土代町12  
TEL (231)2446・3932・4829  
大阪営業所 大阪市北区神田町29(宝山ビル)  
TEL (36)7048・0786  
東京工場 東京都大田区下丸子188  
TEL (738)417-9  
横浜工場 横浜市港北区新吉田御霊157  
TEL 横浜(45)1421-3



高圧進相用単器型100KVA

株式会社 指月電機製作所

本社・工場 西宮市大社町一  
 電話 5821  
 東京製作所 東京都大田区新井宿七一〇  
 電話 5770・12  
 名古屋出張所 名古屋市中区東瓦町一三〇  
 電話 7645



指月電機  
アンテナ

品質の奉仕  
価格の奉仕

この二つを合言葉とした指月は、トップレベルをゆく高度な技術、徹底した品質管理、新装なった最新の設備から高性能コンデンサを産み世界のどんな処へでも誠意と自信をもってお届けしております。

- 高圧進相用コンデンサ 単器型 一〇〇—一〇〇KVA 集合型 一〇〇—五〇〇KVA
  - 低圧進相用コンデンサ
  - 高周波電気炉用コンデンサ
  - テレビラジオ・通信機用コンデンサ
  - 電子機器用コンデンサ
- ペーパーオイル・MP・ポリエチレン  
 マイラー各コンデンサ  
 (カタログ呈上)

あらゆる産業で  
活躍する!!

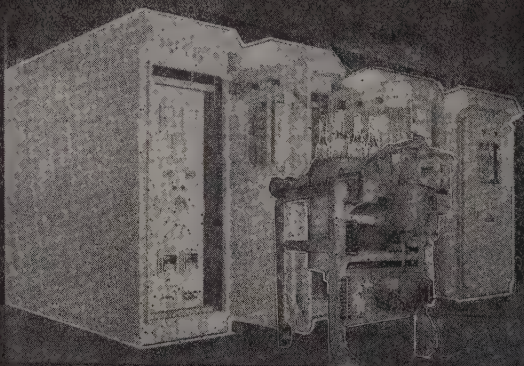


中村電機

ナカムラ

配電盤 / しゃ断器

〈屋外閉鎖型配電盤〉しゃ断器 RB-25型収納



〈営業案内〉送呈 (電会誌 10月号と附記) 京都市外向日町 株式会社 中村電機製作所 (電話) 向日町 531~5



オートメーション化には、優良AVRを!!

# 定電圧

防衛庁各自衛隊指定納入品

日・米・独特許

の御相談は  
我国唯一の 各種AVR  
総合メーカーへ

あなたの優秀なる御設計には、次の何れかが必ずともないます。

摺動型→TH型→	周波数の影響なし、	波形歪みなし、	精度±1%以内、	応答5秒以内	200kVA迄
→TB型→	同上、	同上、	精度±1%以内、	応答4秒以内	200kVA迄
→MR型→	同上、	同上、	精度±3%以内、	応答10秒以内	5kVA迄
磁気増幅型→MA型→	46%~61%	歪率5%以内、	精度±0.5%以内、	応答10% (0.2秒) 以内	50kVA迄
→TM型→	46%~61%	歪率5%以内、	精度±0.5%以内、	応答5% 以内	5kVA迄
電子管型→TR型→	46%~61%	歪率5%以内、	精度±0.1%以内、	応答1% 以内	5kVA迄
鉄共振型→FS型→	47~51, 57~61%		精度±2%以内、	応答1% 以内	5kVA迄
誘導型→ID型→	46~51, 56~61%	歪率10%以内、	精度±2%以内、	応答30秒以内	200kVA迄
定電流装置→CS型→	46%~62%		精度±1%以内、	応答1秒以内	5kVA迄
発電機用型→FR型→	47%~61%		精度±2%以内、	応答約1秒	500kVA迄
電気炉自動制御装置→	弊社のAVRを使用し、高性能、高効率、低廉なる自動温度調節装置				200kVA迄
整流装置→SR型→	電圧及周波数の変動する交流電源から、電圧精度±1%以内の安定した直流を得られる。				
瞬時制動モーター→	起動トルク…大、3% (1/6秒) 以内に瞬時停止並に逆転、起動電流…小、サーボモーターに最適				



## 桂川電機株式会社

東京都大田区矢口町418番地

TEL (731) 0181 (代表) ~5

[型録贈呈]

### 未来につながる技術の結晶

主要製品

巻鉄心変圧器・電力用変圧器  
各種特殊変圧器・ネオン変圧器  
電気カンナ・小形モーター

# アイチのトランス



## 株式会社 愛知電機工作所

本社 愛知県春日井市松河戸町3880 電話 春日井 2131  
東京支店 東京都港区芝田村町4の3 電話 431-0646・6206  
名古屋支店 名古屋市東区水筒先町2の2 電話 94-9586・6  
大阪支店 大阪市北区堂島中町1の41の7 電話 36-9176・9177  
札幌 仙台 福岡 岡山 四日市

ひずみ・応力の測定は勿論ですが……

殆ど全ての物理量を測定でき、自動制御にも応用できる便利な計測器です。

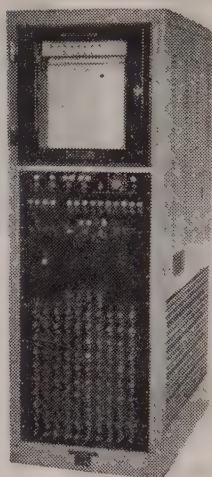
ひずみ計の用途は……

荷重の計測・記録・制御に

クレーンスケール、ホッパースケール等の計重機、コンベア流量計、圧延力計等  
圧力の計測・記録・制御に

各種の圧力計、差圧流量計、液面計等  
実験研究用として各種の測定に

材料及構造物の試験、トルク、偏位、加  
速度、振動等の測定に益々効用が認めら  
れ、合理化の促進に役立っております。



## AS6-K型 多点歪自動記録計

- X-Yレコーダ応用の  
高性能 ■ 1測定点当り30  
プロット・100点までの打  
点記録 ■ 1測定点毎にま  
とめた記録が得られる ■  
1プロット4秒の高速度  
■ 自動的に測定を繰返す  
サイクリング動作 ■



(誌名御記入の上カタログ御請求下さい。)

新興通信工業株式会社

## 抵抗線歪計

本社・工場 神奈川県逗子市桜山 760 電話(逗子)3511(代表)  
東京営業所 東京都台東区御徒町1-8 電話(831)4324・9077・9304  
大阪営業所 大阪市東区本町 5-7 電話(26)0819・9225  
名古屋営業所 名古屋市中区末広町1-6 電話(20)3944・(23)2054  
福岡営業所 福岡市下東町 1 電話(2)4179

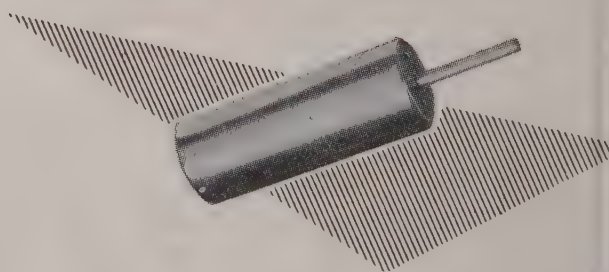
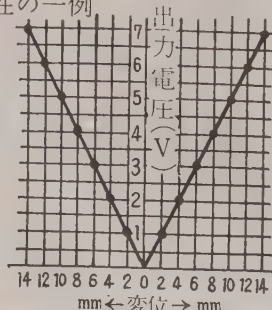
## 差動変圧器

(超直線型)

型 名	直線範囲 mm	周波数 CPS	感 度 V/mm
LT-1	± 4	50~5,000	0.35
LT-2	± 8	50~5,000	0.50
LT-3	± 16	50~5,000	0.50
LT-4	± 20	50~5,000	0.40
LT-5	± 30	50~5,000	0.30
LT-6	± 50	50~5,000	0.30

(入力5V1KC負荷50KΩの場合の感度)

特性の一例



主 用 途

長さ 厚さ 重量 流量 比重 圧力 張力  
歪 振動 加速度 制御 その他精密測定

特 徴

- 出力電圧は可動部の変位と精密に比例しております。

リニアトランス研究所

布施市高井田中1の40

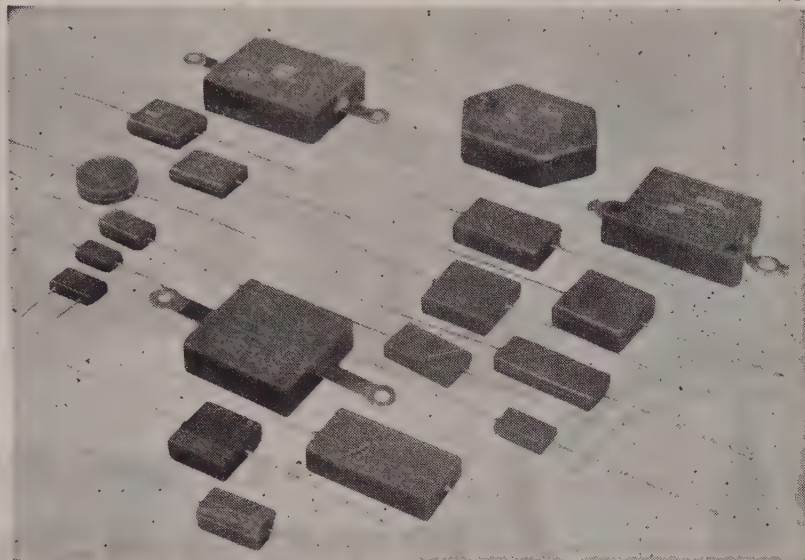
TEL (781)1609代



**SOSHIN**

# シルバードマイカコンデンサ

高いQ・高安定度



搬送機器用  
電子機器用  
ラジオ・テレビ用

防衛庁 NDS 規格認定試験合格会社

## 双信電機株式会社

本社 東京都大田区馬込町西4の2 電話東京 (771) 8111 (代)  
長野工場 長野県北佐久郡浅間町岩村田 電話 岩村田 2 1 1

# LINEARFORMER

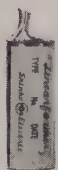
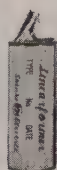
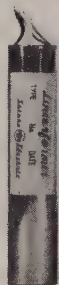
(超直線型差動変圧器)



差動変圧器と応用測定器のデパート

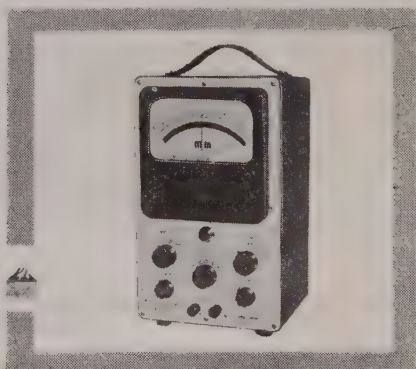
(0.0002 mm → 100 mm まで測定出来ます)

- 主 用 途
- 厚さ、太さ、粗さ、伸び、縮み、撓みの測定
  - 寸法検査 自動定寸 自動選別
  - トルク、応力、動力、歪、振動、加速度の測定
  - 張力、圧力、重量荷重、流量、液位の測定制御



■ DS シリーズ超直線型差動変圧器標準品 31 種

■ DM シリーズ変位測定器標準品 19 種



全電気誤差自動補償

特許・実新6件(出願中) カタログ進呈

神戸市灘区雲井通2-6 TEL 神戸(2) 5514  
東京都中央区日本橋室町4-4神戸銀行室町ビル (241) 0946

**新 光 電 機 株 式 会 社**

最古の伝統と最新の技術を誇る

# 富士金属の バイメタル

●真空熔解に依る

## 富士金属株式会社

本社・工場 大阪市東住吉区加美春日町 27 電話大阪 (79) 5505~7  
東京事務所 東京都中央区日本橋兜町 2 の 55 電話東京 (671) 5417・1586~7  
大阪事務所 大阪市西区阿波座中通 2 の 47 電話大阪 (54) 2134・5641~3

## 誘導に強い！大倉の微小電圧(電流)計を

0.5  $\mu$ V,  $10^{-11}$  A迄安定に測定出来ます。

(特許 181159)  
185424)

微小直流電圧 (電流) 計

(目盛)

0~50  $\mu$ V 乃至 0~2000  $\mu$ V 6Vレンジ切替

0  $\pm$  25  $\mu$ V 乃至 0  $\pm$  1000  $\mu$ V

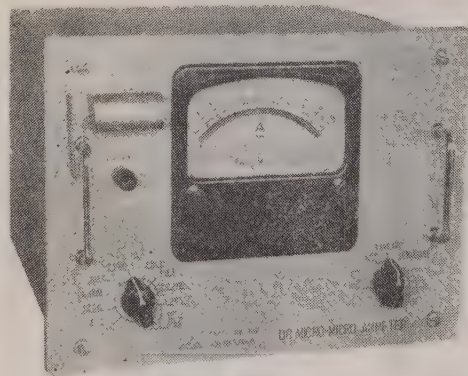
0~1  $\times 10^{-9}$  A 乃至 0~2  $\times 10^{-6}$  A 11レンジ切替

0  $\pm$  5  $\times 10^{-10}$  A 乃至 0  $\times$  1  $\times 10^{-6}$  A

(用途)

熱電対の較正, 熱電耐電圧示差熱光電管電流, イオン化電流の測定及び電位差計ホイートストンブリッジの検電器として使用出来ます。

(誌名記入申込にカタログ呈)



(営業品目)

LCRチェッカー 周波計 セルメーター 電子管式記録計 テレメーター装置各種工業用計器

米国swartwout社

と技術提携



## 大倉電気株式會社

本社 東京都渋谷区美竹町10スクールビル内 電話(402)1181~5

東京工場 東京都杉並区西田町2の407 電話(398)5111(代表)

秩父工場 埼玉県秩父郡皆野町皆野2076 電話 皆野 13・38

大阪出張所 大阪市北区芝田町112井上ビル24号室 電話(36)5791-5, 5891-5(交換)

名古屋出張所 名古屋市東区葵町34古庄ビル内 電話(97)8612

小倉出張所 小倉市相屋町1-20-1丸源ビル内 電話(5)8621



# バリスター

# サーミスター

営業品目

サーミスター  
風速計



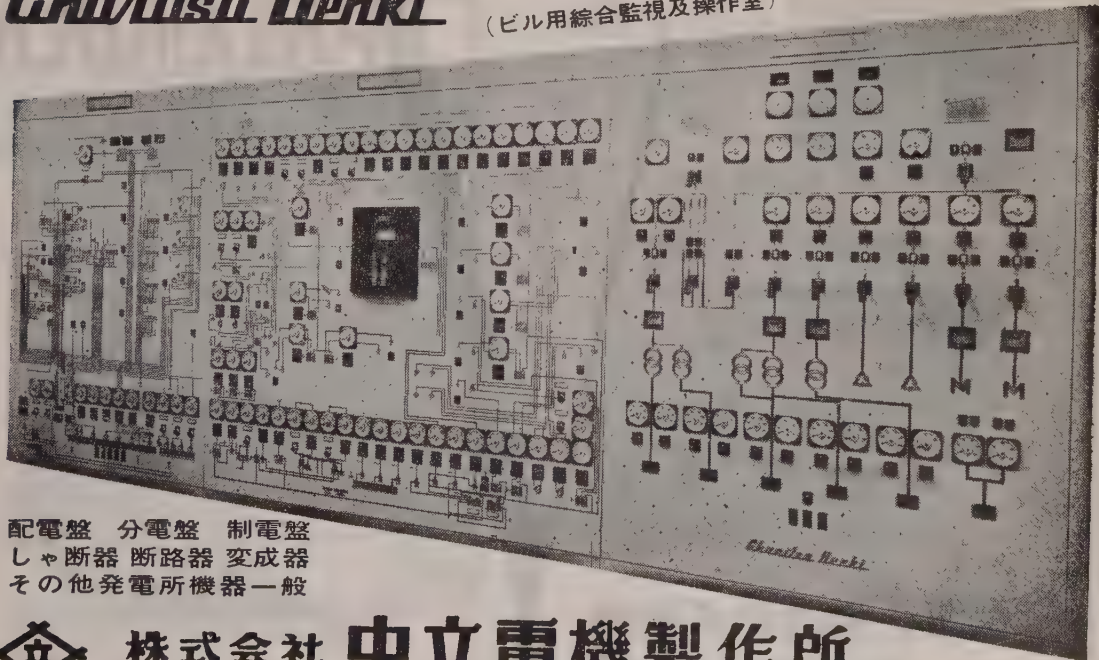
サーミスター  
バリスター  
亜酸化銅整流器  
サーミスター温度計  
サーミスター温度調節器  
サーミスター風速計

株式会社 **芝浦電子製作所**

本社 東京都板橋区前野町1~3 電話 (961)5328(代)  
川口工場 埼玉県川口市飯塚町1~346 電話 川口 3253

## Churitsu Denki

(ビル用総合監視及操作室)



配電盤 分電盤 制電盤  
しゃ断器 断路器 変成器  
その他発電所機器一般



## 株式会社 中立電機製作所

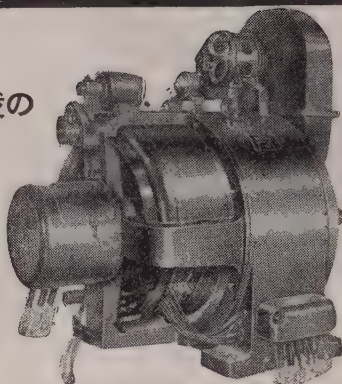
名古屋市昭和区白金町6ノ20 電話(代表)名古屋(88)7161  
東京営業所 東京都千代田区神田末広町51(住吉ビル四階) TEL (251)3778

最も理想的な“無段変速”に

## 三相分巻整流子電動機

あらゆる機械の  
速度調整に  
最適

0.4 kW~220 kW  
各種製作致します



〔カタログ贈呈〕

14p 150 kW 500/550V 50/60~  
580~210/690~250 rpm



“定張力巻取・ロール用に”

## 三相トルク電動機

弊社永年に亘り独特の設計製作による最高性能を誇る製品

定張力巻取用 0.1 kg-M~15 kg-M

電線、ゴム、ビニール、セロファン、箔、銅板、布、紙、フィルム等

ロール用 1 kg-cm~5 kg-cm

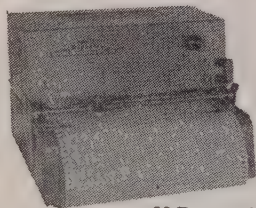
キュアリングマシン、ホットフルドライヤー、シリンドラードライヤー等のテンションコントロールに最適

以上の標準品の外御要求により各種製作致します

# 株式会社 東 電 舎

本 社 東京都港区芝浜松町2の2大門ビル 電話 (431) 1671, 2848~9

工 場 東京都大田区御園3の8 電話 (731) 4006, 4253, (738) 0661



VR-100N

注!!

VR-100Nの開発により  
応用範囲が飛躍的に拡大  
されました。

それは入力回路が筐体から  
絶縁されたからです。

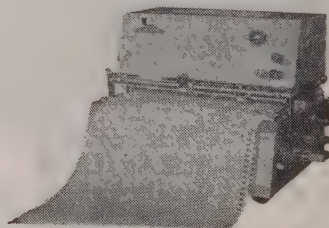
## 日本電気機材株式会社

本社・工場 京都市中京区西ノ京上合町17  
東京サービス 東京都千代田区神田司町2-15  
ステーション 電話 (231) 2736

# ARICORDER

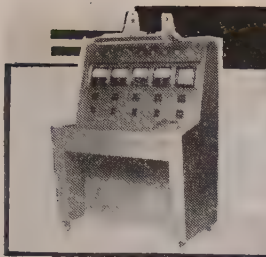
1. 要素の記録が容易である。
2. 追従速度が非常に速い。
3. 入力抵抗が大きく零点調整が全域
4. 小型軽量のため移動に便利。
5. 価格が安い

VR-200G



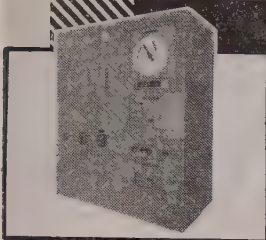
KYOTO TEL (84) 4396-8  
(82) 0395-6





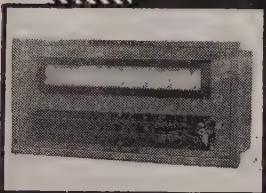
## 自動試験装置

絶縁耐力試験、耐アーク性試験、消費電力試験、耐電圧試験、電池充放電試験、レヤーテスター、乾電池の良否自動選別、絶縁抵抗測定選別、各種抵抗自動選別、多芯ケーブルの自動試験選別など



## 自動制御装置

ガス分析制御、ガラス液面制御、テープ巻取制御、温度・湿度・流量・圧力・速度・液面・重量・張力・混合率など凡ゆる工業量の自動制御調節装置、光電管応用制御装置、各種自動監視装置など種々を製作



## 特殊工業計器

測定範囲自動切換装置付自動平衡型計器、各種記録調節計、各種表面温度計、多回路自動切換式調節温度計、遠隔位置表示調節装置、其他自動制御のエレメントとしての高精度のタイムスイッチ等



凡ゆる工業計測と

オートメーションのための

総合メーカー……



株式会社  
岩佐電気科学研究所

大阪市東淀川区塚本町1-10

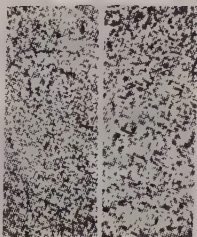
電話 302-1234 (代)

特許

特殊銀酸化カドミウム接点

## T.O.コンタクト・メタル

新しい電気接触子材料として銀酸化カドミウムの優秀性は当社が昨年 T.O. コンタクトメタルを完成発売してより急速に認められ右機器に御採用を戴き好評を賜つて居ります。



TOB-2×300 TOB-3×300

御使用機器

電磁開閉器  
ノーヒューズ  
ブレーカー  
サーモスタット  
各種制御器  
各種電流継電器  
各種電圧継電器  
航空機用継電器  
マイクロスイッチ  
タイムスイッチ  
圧力スイッチ  
自動車電装品用

特徴

融着皆無、接触抵抗、温度上昇、移動量僅少、遮断性、耐触性、耐久性大

製造品目

T.O. コンタクトメタル  
粉末冶金接点  
貴金属合金接点各種

## 中外接点株式会社

本社・工場 東京都目黒区高木町 1509 Tel. (717) 1111~6  
足立工場 足立区本木町 3-5310 Tel. (881) 6188~9

## MINIRON 50

(軟質ガラス封入用合金)

トランジスター 真空管材料

Fe-Ni 合金

平均膨張係数

$8-10 \frac{10^{-6} \text{m}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} (20^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C})$

## 中里合名会社

東京都中央区日本橋両国五番地

5121・5122・5123  
電話 東京 (851) 局  
5124・5125・5126

製造 株式会社 和 銅 電子材料製造部

最大の生産と最高の品質管理を誇る



JIS表示許可  
防衛庁認定工場

# 日本抵抗器

カタログ進呈



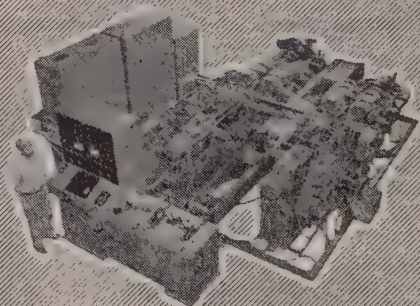
株式会社 日本抵抗器製作所

東京都品川区大井町・森町2-238 電(761)0450・4211  
8554・8594  
大阪市大淀区南浜町2の26 電(37)6756(代)

Nagahama

汎用の標準型は勿論、あらゆる回転体の適当なバランス修正をなし得る様に極めて軽量なるローター専用のマイクロランサーから大容量の大型ランサーに至るまで、自動修正装置付専用機、高速型、特殊型、堅型等各種製作しております。

(カタログ進呈)



ND-50ECD型

フランクシャフト専用全自動約合試験機

## ダイナミック・balancing・マシン

発売元 三菱商事株式会社

機械第二部工作機械一、二課 電話 東京(211)0211 大阪支社機械部工作機械課 電話(20)2341  
名古屋支店一般機械課 電話 名古屋(21)1451 神戸・広島・八幡・福岡・長崎・札幌・長野・広畑  
岡山・呉・徳山・宇部・高松・四日市・富山・静岡・新潟・仙台・室蘭・その他

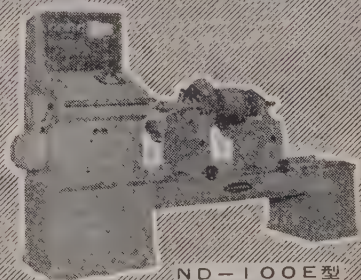


株式会社 長濱製作所

大阪府豊中市浜323 ~ 2 (阪急宝塚線服部駅東500米)

電話 大阪 (39) 5561(代)・1132

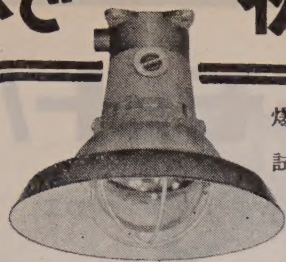
東京事務所 東京都港区芝南佐久間町2の7 電話 東京 (591) 5874・4488



ND-100E型



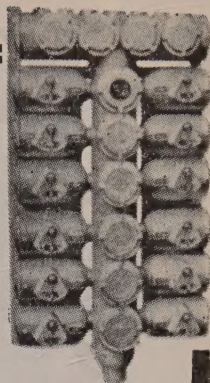
# 日本で初めての



耐圧防爆形200W直付灯

爆発強度試験と爆発引火  
試験で保証する

## 耐圧防爆形



耐圧防爆形12回路電灯分電盤

白金式

## 耐圧防爆形照明

//////////白金式防爆形主要製品//////////

照明器具 (パイプ吊, ブラケット, 直灯)  
ハンドランプ, 投光器, 探見灯, コンセンド  
並に 点滅器, 電灯分電盤 (2~20回路)  
刃型開閉器 (30, 60, 150, 200, 300A)  
ジャンクションボックス, ジョイントボッ  
クス, プールボックス, シーリングフィッ  
ティング, ユニオンエルボー, コムパウンド

並に

## 防爆形配線装置



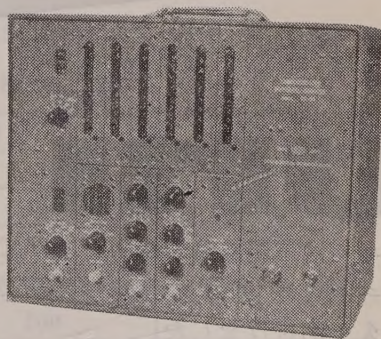
白金式 伊東電機株式会社

本社並に 東京都港区芝三田四国町16  
防爆研究所 電話 (451) 代 4191~4番  
工場 東京都港区芝三田四国町2の4

# JEIC 万能力ウンター

— オールトランジスター化 —

感 度	正又は負 1.5 V (10kΩ) 15 V (100kΩ)
桁 数	6桁 ネオンランプ表示
精 度	± (0.001% 1 count)
周波数測定範囲	1% ~ 1 Mc
ゲート時間	0.01, 0.1, 1, 6, 10, 60, 100秒
表示時間	約 0.5 ~ 5秒
時間測定範囲	10 μs ~ 10 <sup>6</sup> sec
周期測定範囲	0 ~ 10kC ±0.3% 以内
測定波数	1 及び 10
標準周波数出力	1, 10, 100% 1, 10, 100, 1000kC
外形寸法	330h × 370w × 190dmm



CC-61型

量産体制が整いましたので価格がさが  
りました。

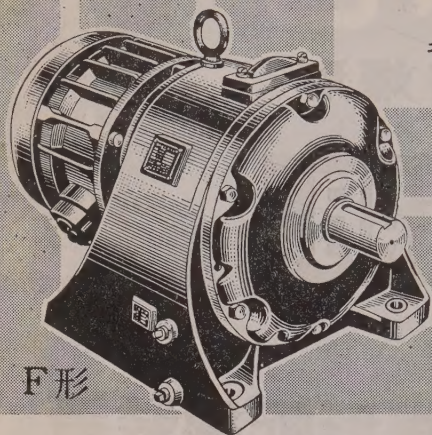
## 日本電子測器株式会社

本社・工場 東京都中央区月島西仲通10-7 電話 (531) 0101 (代)  
大阪出張所 大阪市北区太融寺町8(アトラスビル) 電話 (3681) 76~8  
仙台工場 仙台市袋町27 電話 (2) 9961



# SKKギヤードモートル

ギヤーシェービング・クラウニング加工



強力  
軽量  
低廉

3つの特徴



株式会社 精機工業所

尼崎市塚口 電話 大阪 (48) 5921(代)-9  
支店 出張所 東京 福岡・札幌・名古屋



uni

ユニは三菱鉛筆の総力を挙げて完成した最高級の製図用鉛筆です。

ユニとは ONE の意味の英語で——現代に存在する唯一のもの——として敢えて名付けました。



三菱鉛筆

本誌広告取扱店

広

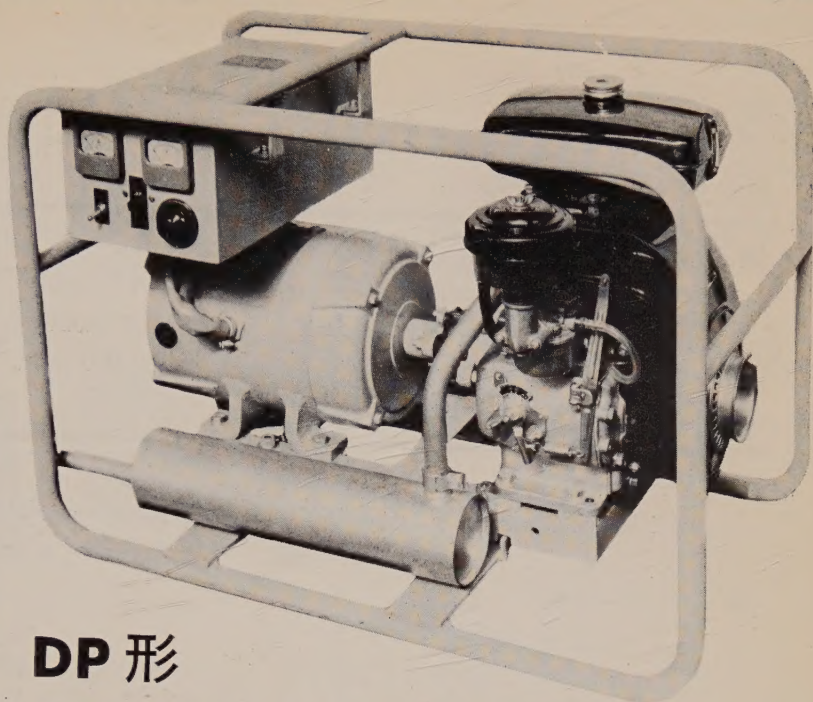
和

堂

東京都中央区銀座西8ノ9  
第3一越ビル5階電話 (571) 6836・8763  
(572) 0606



小形交流発電機



DP 形

# 三菱 ダイヤパワー

三菱DP形ダイヤパワーは 単相自励交流発電機と三菱メイキエンジンを直結したもので 単相交流電源として あらゆるものに使用されています

## 特 長

1. 電圧変動率が少なく 速応性が良い
2. 小形軽量で運搬に便利
3. 取扱い 保守が容易
4. 通信用電源に好適
5. 電氣的・機械的保護が完全

三菱DP形ダイヤパワー標準仕様表

	仕 様	形式記号	DP-1B	DP-2B
交流発電機盤	出 力( kW )		1	2
	電 圧( V )		100	100
	周 波 数( c/s )		50/60	50/60
	回 転 数( rpm )		3,000/3,600	3,000/3,600
	力 率( % )		100	100
エンジン	出 力( ps )		2.5/3.0	4.5/5.0
	使用燃料		ガソリン	ガソリン
	概 略 重 量 ( kg )		100	130



三菱電機株式会社



## 最新の方式 記録的容量

# 製鉄ミル用電動機

■ 川崎製鉄・千葉製鉄所の厚板圧延機設備として納入された10,000馬力双電動機形イルグナ電動機には、わが国で初めてのトップホワード方式による新2段配置が採用されました。主軸直下から解放された双電動機は、保守点検に非常な便利を加え、記録的な出力とあわせて、躍進した技術の成果を示しております。本電気設備の主機の仕様は次の通りであります。

### ■ 水平ロール用

直 流 電 動 機

双電動機形

ト ッ プ ホ ワー ド 式

3,750 kW

± 750 V ±40/80rpm ..... 2 台

### ■ 立てロール用

直 流 電 動 機

二重電機子

1,120 kW

± 750 V ±150/375 ..... 1 台

### ■ イルグナ変流機

直 流 発 電 機

2,250 kW

± 750 V ..... 4 台

直 流 発 電 機

1,250 kW

± 750 V ..... 1 台

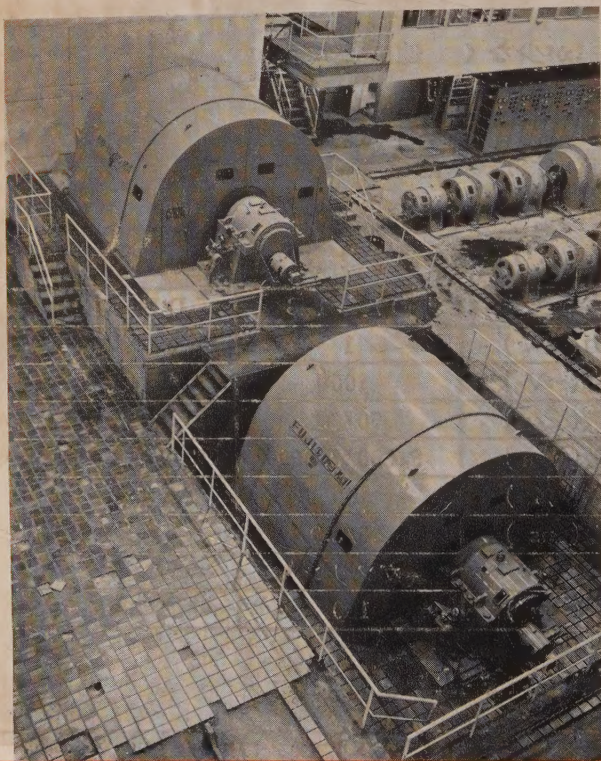
三相誘導電動機

6,700 kW 6,600 V 50c/s 400-485/500rpm ..... 1 台

蓄 勢 輪

168,000 kW/sec 500rpm ..... 1 台

■ 数百台の補機および付帯設備 (詳細省略) ..... 1 式



**富士**

**ミルモータ**

富士電機製造株式会社